corso di
RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 19-26 novembre 1960 - un fascicolo lire 150 8° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

LA CORRENTE ALTERNATA

La corrente alternata non è che una corrente elettrica che scorre dapprima in una data direzione — per un determinato tempo — e quindi in senso opposto, per un medesimo tempo.

A differenza della corrente continua (**figura 1A**), la quale raggiunge un certo valore o ampiezza in breve e la mantiene per tutto il tempo in cui il circuito rimane chiuso, la corrente alternata cambia continuamente la sua ampiezza.

Partendo dal valore zero, essa raggiunge il suo massimo valore nella direzione positiva per poi tornare a zero, (ossia al punto in cui la corrente cessa di scorrere), dopo di che scende al massimo valore nella direzione negativa, per poi tornare nuovamente a zero, (**figura 1B**). Per questo motivo si dice che la corrente alternata è una corrente che varia continuamente di ampiezza (assumendo cioè tutti i valori intermedi interposti tra il massimo positivo ed il massimo negativo), e che varia periodicamente, ossia ad intervalli regolari. Il lettore non è nuovo a questo concetto: egli ricorderà certamente quanto si è visto, addirittura alla prima lezione, in merito alle oscillazioni, sia di natura meccanica che di natura elettrica. Tali oscillazioni (quelle elettriche) sono appunto espressioni — è superfluo dirlo — di corrente alternata, a frequenza (inversione di polarità) elevata.

Sebbene la corrente continua sia stata la prima ad essere diffusa e conosciuta nelle sue caratteristiche, le sue applicazioni per l'alimentazione diretta degli apparecchi elettrici e dei circuiti elettronici sono limitate; viene usata soltanto in determinate circostanze e cioè con ricevitori o trasmettitori portatili, apparecchi a transistori ecc. ove è generata direttamente da pile. D'altro canto, le caratteristiche della corrente alternata non furono perfettamente comprese che verso la fine del secolo scorso, per cui il suo impiego come sorgente di energia costituisce il campo di sviluppi relativamente recenti.

A tutta prima la corrente continua — intendiamo riferirci alle applicazioni industriali — parve avere una maggiore versatilità che non la corrente alternata, tuttavia, ben presto si rese evidente il fatto che la corrente continua presentava certi svantaggi che non rientravano invece nelle caratteristiche della seconda. Ecco un breve elenco di tali inconvenienti.

1) La corrente continua non può essere portata a lunga distanza senza una considerevole perdita di potenza. Infatti, la resistenza totale dei cavi presenti tra il punto di origine e quello di utilizzazione dissipa la maggior parte della potenza in calore, prima che la corrente arrivi a destinazione. Per contro, la corrente alternata può essere portata a lunga distanza senza perdite apprezzabili — sotto forma di alta tensione e bassa corrente — sulle linee di alta tensione oggi familiari, per essere poi trasformata sul posto di utilizzazione in tensione e corrente adatte per l'impiego nelle case e nelle fabbriche.

2) La corrente continua non può essere irradiata da un'antenna. E qui ci richiamiamo ancora ai concetti già esposti (lezione 1ª e 7ª) per illustrare le onde elettromagnetiche, la loro generazione nei circuiti oscillatori e la trasmissione e ricezione radio.

L'intero sviluppo della scienza delle radiotrasmissioni, secondo l'attuale conoscenza, dipende evidentemente dall'attitudine da parte della corrente alternata ad essere irradiata nello spazio da un'antenna e ad essere proiettata a grande distanza sulla superficie della terra.

Fu presto chiaro come la corrente alternata rappresentasse una fonte di energia molto più comoda della corrente continua, specialmente in considerazione del fatto che essa può essere convertita nella seconda — ove opportuno — con una certa facilità. La conversione della corrente continua in corrente alternata, sebbene altrettanto possibile, non è spesso nè facile nè conveniente.

Quanto sopra tuttavia, non significa che la corrente continua non presenti, anche industrialmente alcun interesse e sia, in altre parole, inutile: esistono casi, come vedremo, in cui essa è, se non l'unica, certamente la fonte di energia più adatta: ad esempio, nelle installazioni mobili sulle vetture e sugli aereoplani, ove la sorgente di energia è rappresentata dagli accumulatori, già dettagliatamente descritti nella nostra 11ª lezione.

INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

Il primo tipo di energia elettrica fu, come si è detto, la corrente continua, generata da pile o da batterie; nel 1819 H.C. Oersted, fisico danese, mentre effettuava esperimenti con detto tipo di corrente, scoprì incidentalmente che un conduttore percorso dalla corrente influenzava l'ago di una bussola e costituiva quindi, di per se stesso, un magnete. Nacque così l'elettromagnete, in tal modo definito per distinguerlo dal magne-

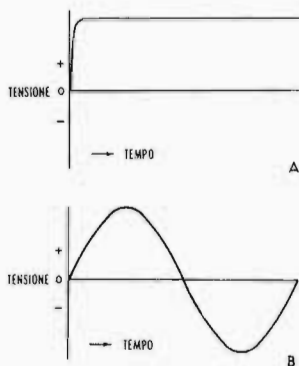



Fig. 1 — La corrente continua mantiene la sua ampiezza (A), quella alternata la cambia continuamente (B).

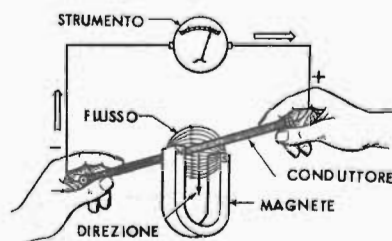
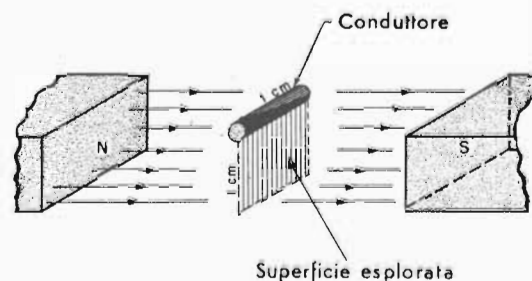



Fig. 2 — Un conduttore mosso tra le espansioni polari di un magnete, viene percorso da una corrente che cambia di senso per un movimento in senso opposto del conduttore stesso: si genera così corrente alternata.

Fig. 3 — Se il conduttore è lungo 1 cm e si muove verticalmente verso il basso alla velocità di 1 cm al secondo, descrive una superficie di 1 cm² che è attraversata dalle linee di forza del magnete.

te naturale o artificiale, ed è importante notare che, in entrambi i casi, le linee di forza magnetica e il campo magnetico circostante ad un conduttore percorso da corrente sono della stessa natura di quelle prodotte da un magnete naturale. Abbiamo già dettagliatamente visto i fenomeni dell'elettromagnete alla nostra 13ª lezione.

La scoperta di Oersted rivelò che l'elettricità ed il magnetismo erano in stretti rapporti in quanto entrambi potevano essere impiegati per prodursi l'un l'altro, tuttavia, non fu che nel 1831, ossia dodici anni più tardi, che M. Faraday in Inghilterra, e G. Henry in America furono in grado di dimostrare che era possibile utilizzare un magnete per produrre in modo pratico la corrente elettrica. Ricordiamo in proposito quanto già esposto sul funzionamento della dinamo alla lezione 14ª.

Faraday, nei suoi esperimenti, oggi classici, collegò un galvanometro sensibile ai capi di un avvolgimento, e trovò che quando un magnete veniva inserito nell'avvolgimento stesso, questo veniva percorso da corrente, e che quando lo si estraeva, si aveva un passaggio di corrente in senso opposto. Inoltre, il passaggio di corrente si verificava soltanto mentre il magnete era in movimento, ossia quando le linee forza presenti intorno al magnete incrociavano i fili dell'avvolgimento. Oltre a ciò fu dimostrata anche la condizione opposta, ossia: se si teneva fermo il magnete e si faceva muovere l'avvolgimento, si produceva il medesimo fenomeno. In tal modo veniva prodotta per la prima volta la corrente alternata. La **figura 2** illustra il principio nel caso di un conduttore singolo e delle espansioni polari di una calamita a ferro di cavallo.

AMPIEZZA della FORZA MOTRICE INDOTTA

Si è trovato che la tensione o forza elettromotrice (f.e.m.) prodotta è tanto maggiore quanto maggiore è la velocità del movimento ed anche quanto maggiore è l'intensità del campo magnetico.

Da tali osservazioni è facile concludere che l'ammontare della f.e.m. prodotta dipende dal numero delle linee magnetiche tagliate dal conduttore dell'avvolgimento in una data unità di tempo — per cui — per aumentare la f.e.m., è necessario o aumentare la velocità del movimento o il numero delle linee di forza mediante l'impiego di un magnete più forte. Ciò può essere riassunto dalla seguente legge: **la f.e.m. indotta in un conduttore mobile è proporzionale al numero delle linee magnetiche di flusso tagliate in un minuto secondo dal conduttore.**

Per esprimere la f.e.m. in volt, ossia in unità pratica di misura, invece che in unità del sistema elettromagnetico c.g.s. (centimetro-grammo-secondo) è necessario moltiplicare il numero delle linee di forza per il fattore 10^{-8}, come dalla seguente formula:

f.e.m. indotta (in volt) = linee tagliate al secondo $\times\ 10^{-8}$

Primo esempio. Supponiamo che i poli del magnete della **figura 3** producano una densità di flusso di 10^9 linee per centimetro quadrato, che il conduttore abbia la lunghezza di un centimetro e si muova verticalmente verso il basso, alla velocità di un centimetro al secondo. La tensione indotta nel conduttore può essere calcolata come segue:

1) la superficie descritta dal conduttore, ad angolo retto rispetto alle linee di forza, in un secondo, corrisponde al prodotto della lunghezza del conduttore per la lunghezza del percorso, ossia, nel nostro caso, ad 1 cm²; tale area è quella tratteggiata nella figura. Il numero di linee che la attraversano è dato dal prodotto della superficie per il numero delle linee per cm², ossia

$$1\ \text{cm}^2 \times \frac{10^9\ \text{linee}}{\text{cm}^2} = 10^9\ \text{linee}$$

quindi 10^9 linee tagliate in un secondo dal conduttore.

2) la tensione e indotta nel conduttore è data da

$$e = \frac{10^9\ \text{linee}}{\text{sec}} \times 10^{-8} = 10\ \text{volt}$$

Dal punto di vista meccanico è scomodo produrre una corrente alternata muovendo un magnete rispetto ad una bobina o viceversa, ma si può già realizzare un semplice generatore di corrente alternata *facendo ruotare* un avvolgimento, di un'unica spira, in un campo magnetico fisso: in tal modo è possibile un movimento continuo e uniforme. La direzione della f.e.m. indotta si inverte col girare della spira, in quanto, *quando il conduttore si muove in una data direzione, la tensione indotta ha un senso, e, non appena si muove in direzione opposta si inverte il senso della tensione indotta.*

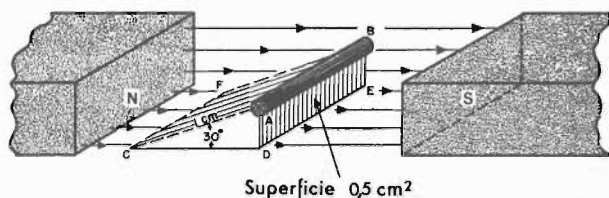



Fig. 4 — Se il conduttore si sposta in senso obliquo anzichè verticale, il numero di linee di forza tagliate è minore: per un angolo di 30° la superficie si riduce alla metà rispetto a quella di Fig. 3.

Fig. 5 — Spostamenti orizzontali non tagliano alcuna linea.

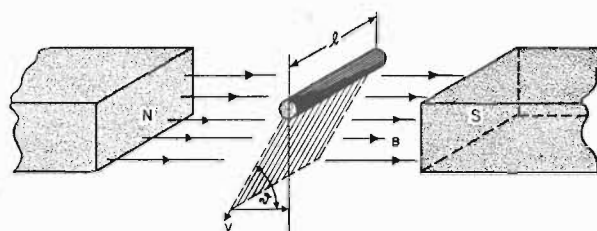



Fig. 6 — Elementi della formula per calcolare la f.e.m. indotta.

Tuttavia, prima di considerare un metodo per determinare la direzione di tale f.e.m. indotta è necessario fare un riferimento agli effetti sull'ampiezza dovuti alla rotazione della bobina. L'esempio che segue illustrerà il fatto che il conduttore mobile taglia un numero minore di linee magnetiche muovendosi ad angolo retto rispetto ad esse che non quando si muove in direzione obliqua.

Secondo esempio. Supponiamo che il medesimo conduttore impiegato nel primo esempio venga ora mosso con la medesima velocità di 1 cm al secondo, ma in direzione tale da formare un angolo di 30°, rispetto alle linee magnetiche (**figura** 4).

Troviamo la f.e.m. indotta nel conduttore. L'area percorsa dal conduttore in 1 secondo è tratteggiata nella figura, ed è eguale al prodotto tra la lunghezza del conduttore stesso e la lunghezza dello spostamento, ossia ancora 1 cm². Le linee di flusso che attraversano tale area vengono tagliate dal conduttore in 1 secondo, ma è evidente, osservando la figura, che il numero di linee tagliate è ora inferiore a quello delle linee tagliate col movimento verticale. Il numero massimo di linee intersecate si ottiene infatti quando il conduttore si muove dall'alto in basso o viceversa. Per trovare la tensione indotta con uno spostamento a 30°, è necessario trovare il numero delle linee tagliate in 1 secondo, e ciò può essere fatto nel modo seguente:

1) Anzitutto costruire il triangolo rettangolo *ACD* come mostrato nella figura 4. L'ipotenusa di tale triangolo, *AC*, ha la lunghezza di 1 centimetro in quanto costituisce lo spostamento noto e stabilito per il nostro esempio e così è anche per l'angolo che è di 30°. Dallo studio della trigonometria (della quale, nella lezione 24ª, esponiamo i princìpi fondamentali, cui faranno seguito gli argomenti integrativi in una successiva lezione), apprendiamo che la lunghezza del lato *AD* può essere ottenuta come segue:

$$Sen\ 30^\circ = AD : AC$$

Dalle tavole trigonometriche (vedi pag. 190) sappiamo che *Sen* 30° è eguale a 0,5

$$\text{per cui } 0{,}5 = AD : AC$$

Sostituendo il valore noto di 1 centimetro per il lato *AC* otteniamo:

$$0{,}5 = AD : 1 \text{ cm}$$

e moltiplicando in croce: $0{,}5 \times 1 \text{ cm} = AD$
da cui $AD = 0{,}5 \times 1$ ossia $AD = 0{,}5$ cm

2) Costruire ora il rettangolo *ABED* facendo in modo che *BE* sia parallelo con *AD*, e ne abbia la medesima lunghezza, e che *DE* sia parallelo ed opposto ad *AB* (figura 4).

In tal modo abbiamo un rettangolo della lunghezza di 1 centimetro e della larghezza di 0,5 cm, per cui l'area equivale a 1 × 0,5, ossia 0,5 cm².

3) Dall'esame della figura, appare evidente che tutte le linee di forza che attraversano il quadrato *ABFC*, provengono dal rettangolo *ABED*, per cui il numero delle linee di forza tagliate dal conduttore equivale a quello che attraversa l'area di 0,5 cm².

4) Il numero di linee di forza che attraversano la area *ABED* è dato dal prodotto della superficie in cm² per il numero di linee per cm², ossia

$$\frac{0{,}5 \text{ cm}^2 \times 10^9 \text{ linee}}{\text{cm}^2} = 0{,}5 \times 10^9 = 5 \times 10^8 \text{ linee}$$

5) La tensione indotta nel conduttore è quindi:

$$5 \times 10^8 \text{ linee} \times 10^{-8} = 5 \text{ volt}$$

in cui 10^{-8} è il fattore di moltiplicazione, come abbiamo già visto, usato per convertire in volt la f.e.m. indotta.

Da quanto detto, si nota che la tensione indotta in un conduttore che si muove verticalmente attraverso le linee di forza è maggiore di quella indotta nel medesimo conduttore che si sposta in direzione formante un angolo di 30° rispetto a quella delle linee stesse.

Si può anche facilmente comprendere ora che la f.e.m. indotta in un conduttore che si muove in direzione parallela al campo magnetico è zero. A questo proposito si osservi la **figura** 5. Appare evidente che, se il conduttore si muove in direzione parallela al campo magnetico, l'area descritta in direzione perpendicolare al campo è nulla, in quanto l'intera area descritta è parallela al campo, il che significa evidentemente che nessuna linea viene tagliata, per cui nessuna tensione viene indotta.

Possiamo, a questo punto, determinare una formula generale che dà un aspetto pratico a tutti i fenomeni descritti sin qui, e che permette di calcolare l'ampiezza della f.e.m. indotta in un conduttore avente lun-

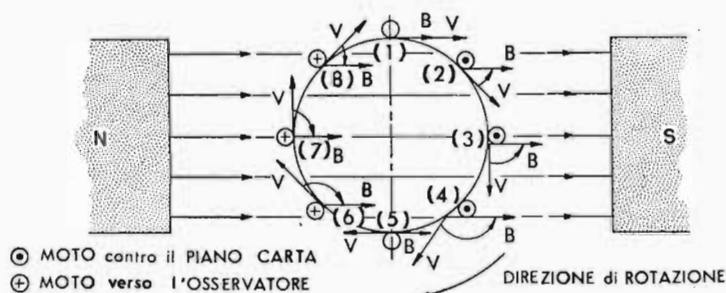



Fig. 7. — Se il conduttore ruota in un campo magnetico costante, la f.e.m. in esso indotta varia di ampiezza a seconda dell'angolo presente tra la direzione di moto e le linee di forza. Il senso della corrente è verso il piano della pagina dalla posizione (1) alla (5), e verso l'osservatore dalla (5) alla (1).

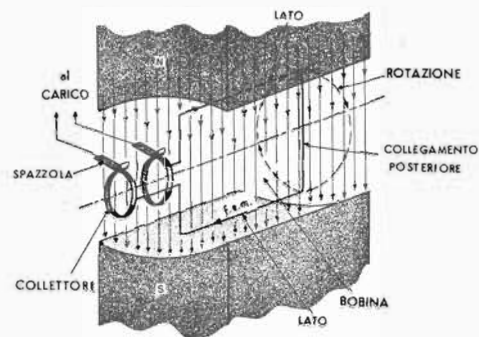



Fig. 8 — La spira rotante, che rappresenta una bobina i cui terminali fanno capo a due anelli di contatto con le spazzole, rende disponibile su queste ultime una corrente alternata.

ghezza l, che si muova con velocità v, e che si sposti in una direzione formante con quella delle linee di flusso l'angolo ϑ.

La densità di flusso del campo magnetico attraverso il quale il conduttore si muove ha il valore B, corrispondente al numero delle linee di forza per cm². La **figura 6** illustra tali quantità.

$$e = B \times l \times v \times Sen\ \vartheta \times 10^{-8}$$

dove:

e = f.e.m. indotta in volt
B = densità di flusso in linee per cm²
l = lunghezza del conduttore in cm
v = velocità del conduttore in cm/sec.
$Sen\ \vartheta$ = angolo del movimento del conduttore rispetto alla direzione delle linee (*).

Riassumendo quanto detto in merito all'ampiezza della f.e.m. indotta in un conduttore che ruota in un campo magnetico, è possibile trarre le seguenti conclusioni:

1) la f.e.m. indotta ha il suo valore massimo quando il conduttore taglia le linee magnetiche a 90° (*Sen* 90° = 1).

2) la f.e.m. indotta è zero quando il conduttore si muove parallelamente alle linee (*Sen* 0° = 0).

3) se il conduttore si muove in una direzione che non è nè perpendicolare nè parallela alle linee magnetiche, la f.e.m. indotta dipende dal senso dell'angolo che la direzione del movimento (detta *vettore velocità*) del conduttore forma con le linee magnetiche; la **figura 7** mostra tale angolo per otto posizioni durante un'unica rotazione.

4) qualsiasi aumento, sia dell'intensità del campo magnetico, sia della lunghezza del conduttore o della sua velocità di movimento nei confronti del campo stesso, provocherà un aumento della f.e.m. indotta.

La direzione della f.e.m. indotta in un conduttore può essere determinata a mezzo di semplici regole; una di queste, tra le più note è la seguente.

Se il pollice, l'indice e il medio della mano destra vengono messi ad angolo retto tra di loro, in modo tale che il pollice indichi la direzione del movimento del conduttore e l'indice la direzione del campo magnetico, il medio indicherà la direzione della f.e.m. indotta, ossia la direzione del terminale positivo. Tale regola si chiama « regola di Fleming della mano destra ».

Alla figura 7 si può osservare l'indicazione della direzione della f.e.m. indotta nella sezione trasversale di un conduttore rotante in un campo magnetico per diverse posizioni del conduttore stesso. La velocità e la densità di flusso sono disegnate in ogni posizione sotto forma di vettori, e la frecce curve denotano la rotazione del vettore V verso il vettore B. E' importante notare che nelle posizioni di destra (lato del polo Sud), le f.e.m. indotte vanno tutte verso il senso del piano carta, mentre nelle posizioni di sinistra (lato del polo Nord), la direzione della f.e.m. è volta all'esterno rispetto a detto piano (ossia verso l'osservatore).

Nelle posizioni 1 e 5 il conduttore si muove parallelamente al campo, e la f.e.m. generata è nulla, per cui non è indicata alcuna direzione.

La **figura 8** ci dà una più completa visione di quanto abbiamo testè visto nei riferimenti della figura 7. Con la nuova figura possiamo ora renderci conto di come un assieme del genere possa costituire in realtà un vero e proprio generatore di corrente alternata che nel caso in esame viene detto a 2 poli ma, che si può presentare, in altre più complete esecuzioni, come vedremo, anche con 4 o più poli.

Il lettore ha già da tempo appreso nei riguardi delle oscillazioni il concetto di ciclo e periodo; gli risulterà ovvio applicare tale concetto al fenomeno in esame.

La parola stessa, ciclo, indica una rotazione, e se consideriamo un punto di partenza qualsiasi della spira o conduttore, possiamo considerare come ciclo il percorso compiuto da detto punto per ritornare al suo stesso posto, dopo aver descritto l'intera circonferenza. Se però consideriamo l'effetto del campo magnetico sul conduttore che, ruotando, descrive detta circonferenza, notiamo che la f.e.m. indotta assume vari valori compresi tra lo zero — corrispondente ai due punti in cui il movimento è parallelo al campo magnetico — ed il massimo in cui il movimento è perpendicolare.

Partendo ad esempio dal punto (1) (**figura 9**) e ruotando verso sinistra, notiamo che la f.e.m. indotta inizia dal valore 0 in detto punto, raggiunge il valore massimo positivo nel punto (3), ritorna a 0 nel punto

(*) (Il valore di sen ϑ per qualsiasi angolo può essere ottenuto dalle tavole delle funzioni trigonometriche, che pubblichiamo in questo stesso fascicolo).

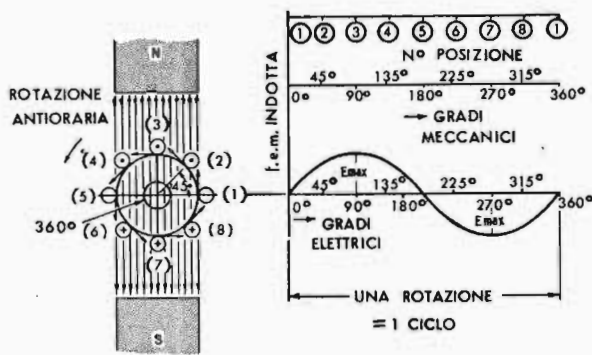



Fig. 9 — Variazioni di ampiezza di una f.e.m. indotta in un conduttore rotante in senso antiorario tra due espansioni polari. Sono indicate le posizioni di rotazione in gradi.

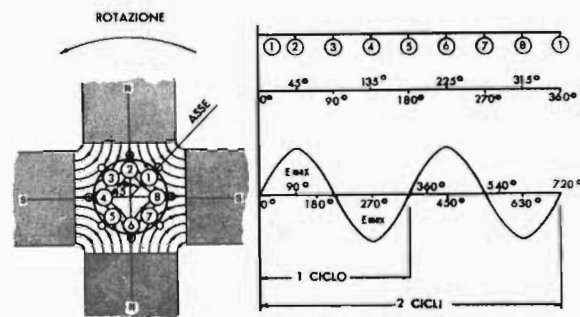



Fig. 10 — Se le espansioni polari sono quattro in luogo di due, in una rotazione si hanno due cicli completi della f.e.m. indotta, in luogo di uno.

(5), raggiunge il massimo valore negativo nel punto (7) e in ultimo torna nuovamente a 0 nel punto (1). La figura 9 illustra anche l'espressione grafica di tale fenomeno, mettendo contemporaneamente in evidenza la forma regolare della tensione generata in una rotazione completa con velocità costante.

Poichè una rotazione completa corrisponde ad un angolo di 360°, è facile dedurre che i vari punti costituenti il risultato dell'andamento, possono essere individuati esprimendo numericamente i gradi corrispondenti al punto di rotazione. La figura o linea che riproduce l'andamento della tensione si chiama **sinusoide**, e rappresenta un ciclo completo o periodo; la linea orizzontale su cui sono riportati i valori in gradi e che corrisponde ai punti in cui la f.e.m. è zero, è detta *isoelettrica* e divide il ciclo in due parti eguali, di cui la parte superiore viene considerata positiva e la parte inferiore negativa. Dette parti, come sappiamo già, si chiamano *semiperiodi* o *semicicli* o *semionde* in quanto ognune di esse corrisponde alla metà di una intera rotazione.

Quanto abbiamo detto si riferisce al funzionamento di un generatore a due poli, e permette di trarre le seguenti conclusioni:

1) la f.e.m. indotta in una bobina rotante in un campo magnetico è una f.e.m. alternata che varia col variare del senso e dell'angolo di rotazione, e viene denominata onda sinusoidale di tensione.

2) la f.e.m. raggiunge il valore massimo quando ogni lato dell'avvolgimento si trova in prossimità del centro di un polo.

3) la f.e.m. è zero quando ogni lato dell'avvolgimento si trova nello spazio che intercorre tra i poli.

4) la polarità della tensione indotta nel lato prossimo al polo Nord è opposta a quella della tensione indotta nel lato prossimo al polo Sud, per cui i valori si sommano formando tensioni di valore *doppio* di quello generato da un lato solo.

5) quando l'avvolgimento ha completato una rotazione meccanica la f.e.m. indotta ha completato un ciclo elettrico.

Abbiamo detto che la rotazione completa di un avvolgimento in un generatore a due poli corrisponde ad un ciclo elettrico; se l'avvolgimento ruota una sola volta al secondo, la frequenza della f.e.m. alternata è di un ciclo al secondo: 10 rotazioni al secondo darebbero una frequenza di 10 cicli al secondo, per cui si può concludere che *la frequenza non è altro che il numero di cicli in un secondo*. In 10 rotazioni l'avvolgimento descrive 10 volte 360°, ossia 3.600° ogni secondo; detti gradi meccanici corrispondono ad altrettanti gradi elettrici nei confronti della tensione indotta, per cui deduciamo che, in un generatore a due poli, un grado meccanico equivale ad un grado elettrico.

Se il generatore ha 4 poli anzichè i due sin qui considerati, qualsiasi punto che si trovi sulla circonferenza descritta nella rotazione viene a trovarsi 4 volte nella posizione corrispondente alla f.e.m. = 0, e 4 volte nella posizione corrispondente al valore massimo, per cui ogni rotazione determina due cicli completi: in altre parole, se la frequenza di rotazione meccanica corrisponde a 10 giri al secondo, la f.e.m. indotta avrà una frequenza di 20 cicli al secondo (**figura 10**).

E' ovvio che per un generatore a 6 poli, un grado meccanico equivale a 3 gradi elettrici, e che per un generatore a 8 poli si ha un rapporto di 1 a 4; ne deriva che per convertire i gradi meccanici in gradi elettrici, i primi devono essere moltiplicati per la metà del numero dei poli, ossia 1° meccanico = P : 2 gradi elettrici.

Si deduce anche che la f.e.m. indotta avrà una frequenza di P : 2 cicli per ogni rotazione meccanica.

Generalmente il numero dei giri di un generatore è espresso in g/m ossia «giri al minuto» (in inglese, rpm = round per minute), e se una bobina compie N giri al minuto, tale valore equivale a N : 60 giri al secondo, per cui il numero di cicli al secondo di una f.e.m. indotta equivale a N : 60 volte P : 2. Dal momento che il numero dei giri è, per definizione, la frequenza del generatore, si ha:

$$f = \frac{P \times N}{2 \times 60} = \frac{P \times N}{120} \text{ cicli al secondo}$$

in cui: f = frequenza della tensione generata

P = numero dei poli N = giri al minuto.

E' opportuno ora che il lettore sappia che i concetti espressi nei riferimenti della corrente alternata — in particolare quelli che seguono — sono validi indipendentemente dal tipo di generatore. Intendiamo dire con

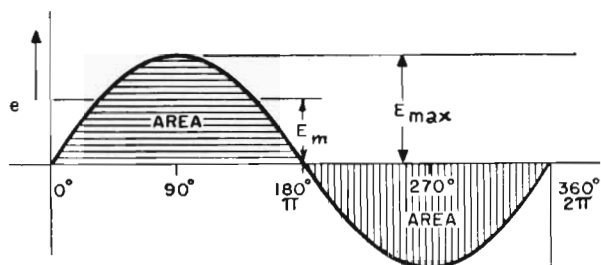



Fig. 11 — Nella rappresentazione di una corrente alternata, si indicano con lettere maiuscole i valori « medi », « efficaci » e « massimi », e con minuscole i valori istantanei.

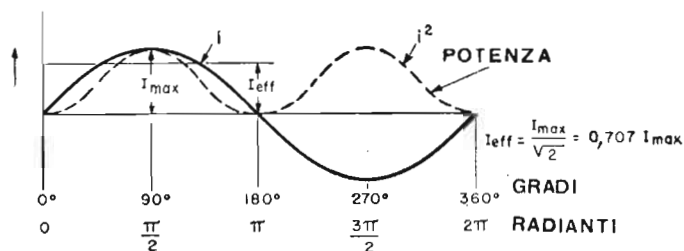



Fig. 12 — La potenza sviluppata da una corrente alternata può essere rappresentata con una curva, le cui ondulazioni sono positive anche quando la direzione della corrente è negativa.

ciò che la corrente alternata non viene prodotta esclusivamente da generatori rotanti, come quelli testè visti; specialmente in radiotecnica la corrente alternata che costituisce oggetto di applicazione è — come sappiamo — a frequenza estremamente più alta di quella prodotta dai generatori rotanti. Si ricorre allora, per la sua generazione, a circuiti oscillanti elettrici, che sfruttano un ben noto componente: la valvola termoionica. In attesa di studiare tutto ciò, si tenga presente che d'ora in poi la parola generatore può quindi significare anche un oscillatore a radiofrequenza.

VALORE ISTANTANEO e di PICCO

Il valore istantaneo di un'onda di tensione sinusoidale è il valore della f.e.m. generata in ogni istante.

E' necessario sapere che tutti i valori istantanei, sia della corrente che della tensione alternata, vengono generalmente indicati da lettere minuscole, mentre tutti i valori medi, efficaci e massimi sono indicati da lettere maiuscole; tale differenza è messa in evidenza alla **figura 11**.

A 0° il valore istantaneo *e* della f.e.m. è 0: tra 0° e 90° il valore di *e* sale da 0 ad un massimo, a 90° raggiunge il massimo valore ed equivale alla tensione di picco ossia *E* (massimo), scritto E_{max}. Tra 90° e 180° detto valore scende dal massimo a 0; nel successivo semiperiodo aumenta e diminuisce nel medesimo modo ma in direzione opposta, per cui la tensione istantanea varia continuamente durante un ciclo completo di 360° elettrici. La tensione di picco E_{max} può quindi essere definita come punto di massima tensione istantanea, la quale può essere sia positiva che negativa. In una tensione esattamente sinusoidale il picco negativo è identico a quello positivo, sebbene i due valori siano di segno contrario.

VALORE MEDIO

Il valore medio di una tensione, o di una corrente, in un ciclo completo equivale a zero, in quanto la semionda negativa è eguale ed opposta a quella positiva (figura 11). Tuttavia, il termine valore medio — quando viene applicato ad una tensione o ad una corrente alternata — si riferisce soltanto al valore medio di una sola semionda, o quella positiva o quella negativa, e, poichè le due forme geometriche sono identiche, lo sono pure le aree circoscritte. Il valore medio di una funzione sinusoidale viene definito come il rapporto tra l'area circoscritta da un semiperiodo e la sua base. La base di un semiperiodo è 180° ossia equivalente ad una lunghezza di π radianti.

Allo scopo di calcolare la superficie di una simile figura geometricamente irregolare, essa deve essere suddivisa in una serie di piccoli rettangoli i cui archi possono essere determinati facilmente; la somma di tutte queste piccole superfici equivarrà, con una certa approssimazione, all'area del semiperiodo (vedere illustrazione del semiperiodo nella figura 11). In tal modo si trova che l'area di un semiciclo di una curva sinusoidale equivale da $2E_{max}$, in cui E_{max} è il valore massimo della tensione; diversamente, detta area può essere eguagliata a $2I_{max}$, in cui I_{max} equivale al valore massimo della corrente. Il valore medio può essere quindi definito mediante la seguente formula:

$$\text{valore medio tens.} = \frac{2\,E_{max}\ \text{(area semiperiodo)}}{\pi\ \text{(lunghezza della base)}}$$

$$= \frac{E_{max}}{\frac{\pi}{2}} = 0.637 \times E_{max}$$

$$\text{valore medio corr.} = \frac{2\,I_{max}\ \text{(area semiperiodo)}}{\pi\ \text{(lunghezza della base)}}$$

$$= \frac{E_{max}}{\frac{\pi}{2}} = 0{,}367 \times I_{max}$$

VALORE EFFICACE

Potenza istantanea. Nello studio della corrente continua si è visto che la potenza dissipata in calore in una resistenza *R* equivalente al quadrato della corrente moltiplicata per la resistenza, ossia $I^2 \times R$. Quando però la resistenza è percorsa da una corrente alternata, la potenza dissipata non è costante durante tutto il ciclo in quanto la corrente varia assumendo tutti i va-

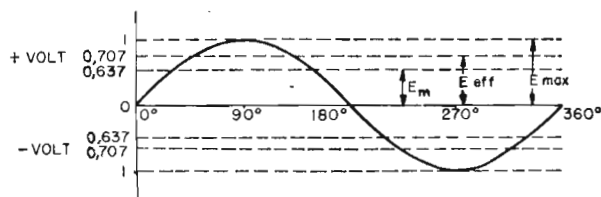



Fig. 13 — **Rappresentazione** grafica delle relazioni che intercorrono tra i valori « medio », « efficace » e « massimo » di una corrente **alternata**.

Fig. 14 — Rappresentazione di due tensioni alternate (e1 ed e2) di eguale frequenza ma di diversa ampiezza, « in fase » tra loro. Come si può osservare massimi e minimi coincidono sempre nel tempo (pari gradi).

lori intermedi, tuttavia la potenza assorbita dalla resistenza in ogni istante equivale al quadrato della corrente istantanea i, moltiplicato per la resistenza, ossia $i^2 \times R$. A questo punto è necessario notare che i^2 è sempre positivo, sebbene i possa essere un valore negativo, in quanto il quadrato di un numero negativo è sempre positivo e maggiore di zero.

Potenza equivalente. In conseguenza di quanto sopra, in un dato periodo di tempo, come ad esempio un semiperiodo, una certa quantità di energia viene fornita alla resistenza sotto forma di calore, tuttavia si può stabilire che un dato valore di corrente continua che scorre attraverso la medesima resistenza per il medesimo tempo, produce una dissipazione di calore identica a quella prodotta dalla corrente alternata. Tale valore di corrente continua viene definito come valore equivalente di riscaldamento, o *valore efficace* della corrente alternata.

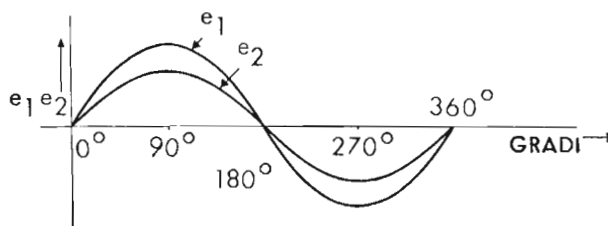
La corrente efficace corrisponde all'area di un semiciclo di i^2 diviso per π, ossia alla radice quadrata del valore medio di i^2, noto come valore efficace (in inglese « rms » = *root mean square*). La **figura 12** mostra la curva di i^2; come detto precedentemente, tutti i semiperiodi sono positivi.

Per trovare il valore efficace della corrente è necessario procedere come per trovare il valore medio. La corrente efficace equivale quindi al valore massimo I_{max} diviso per la radice quadrata di 2, mentre la tensione efficace equivale alla tensione di picco E_{max}, divisa per la radice quadrata di 2. Il valore efficace può quindi essere espresso mediante le seguenti formule:

$$\text{valore efficace corr.} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{max}}{1{,}414} = 0{,}707\ I_{max}$$

$$\text{valore efficace tens.} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{E_{max}}{1{,}414} = 0{,}707\ E_{max}$$

Si noti che il valore di corrente o di tensione indicato dai comuni strumenti di misura per c.a. è normalmente il valore efficace.

Esempio n. 1. La tensione misurata ad una presa di corrente elettrica domestica è di 125 volt: questo è il valore efficace. Qual'è la tensione di picco e la tensione media?

$E_{eff} = 125$ volt $\qquad E_{eff} = E_{max} \times 0{,}707$

$125 = E_{max} \times 0{,}707$

$$E_{max} = \frac{125}{0{,}707} = 176{,}7 \text{ volt. appross.} = \text{tensione di picco}$$

oppure

$E_{media} = E_{max} \times 0{,}637 \qquad E_{media} = 176{,}7 \times 0{,}637$

$E_{media} = 112{,}56$ volt

Esempio n. 2. Un apparecchio elettrico a resistenza funziona con una corrente di 4 ampère (valore efficace). Qual'è la corrente massima e la corrente media?

$I_{eff} = 4$ ampère

$I_{eff} = I_{max} \times 0{,}707 \qquad 4 = I_{max} \times 0{,}707$

$$I_{max} = \frac{4}{0{,}707} = 5{,}65 \text{ ampère} = \text{corrente massima}$$

oppure:

$I_{media} = I_{max} \times 0{,}637 \qquad I_{media} = 5{,}65 \times 0{,}637$

$I_{media} = 3{,}59$ ampère = corrente media

Negli esempi precedenti, si può notare che la tensione di picco e la corrente massima in un circuito elettrico sono notevolmente più alte di quanto è il valore medio, sia di corrente che di tensione. Per questo motivo, il circuito deve essere progettato in modo tale da essere in grado di sopportare tali valori, sebbene si tratti di valori istantanei e presenti soltanto due volte in ogni periodo.

FORMULE di CONVERSIONE

Nella lezione d'appendice sono riportate, come di consueto, tutte le formule che riguardano gli argomenti trattati nelle due altre lezioni dello stesso fascicolo. A pagina 185 quindi, il lettore troverà un elenco di formule che sintetizza quanto abbiamo constatato nei paragrafi precedenti, e rappresenta un mezzo rapido per convertire un valore in un altro. La **figura 13** inoltre, esprime graficamente le relazioni che sussistono tra tali valori.

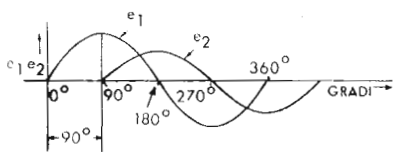



Fig. 15 — Rappresentazione di due tensioni alternate di eguale frequenza, di diversa ampiezza, reciprocamente sfasate di 90°. e_1 è infatti in anticipo di 90° rispetto a e_2.

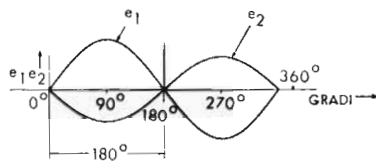



Fig. 16 — Rappresentazione di due tensioni alternate di eguale frequenza, di diversa ampiezza, reciprocamente sfasate di 180°: Ad ogni picco positivo della prima corrisponde il picco negativo della seconda, e viceversa.

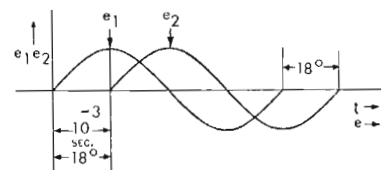



Fig. 17 — Le tensioni alternate alla frequenza di 50 Hertz, prodotte da due diversi generatori, sono sfasate di 18° se uno di essi entra in funzione un millesimo di secondo in anticipo rispetto all'altro.

TEMPO

Come abbiamo spiegato in tema di generazione di un'onda sinusoidale, il tempo durante il quale si svolge un ciclo di corrente o di tensione alternata viene generalmente espresso in gradi elettrici. Così si dice che 90° corrispondono ad un quarto di ciclo, e rappresentano un ammontare di tempo che dipende dalla frequenza della tensione, ossia dal numero di cicli al secondo. Se la tensione considerata ha la frequenza di 50 cicli, un ciclo completo avviene in un cinquantesimo di secondo. Quindi 90° — vale a dire 1/4 di ciclo — rappresentano 1/4 della cinquantesima parte di un secondo, ossia il prodotto tra 1/4 e 1/50, corrispondente a 1/200° di secondo.

Si dice anche che *la fase* di questa tensione è di 90°, ossia un duecentesimo di secondo. **Per fase si intende perciò la differenza, nel tempo, tra qualsiasi punto di un ciclo e l'inizio del ciclo stesso.** L'inizio del ciclo corrisponde normalmente al punto in cui esso passa attraverso il valore 0, nella direzione positiva. La definizione del concetto di fase, sebbene venga raramente usata quando ci si riferisce ad una sola tensione, è di immediata importanza pratica quando due o più tensioni o correnti alternate sono presenti nel medesimo circuito: in questo caso è necessario determinare la reciproca posizione nel tempo, relativamente ad ogni istante.

Anticipo e ritardo. Se due generatori di c.a. a 50 c/s vengono messi in funzione contemporaneamente e vengono collegati al medesimo circuito, le due tensioni variabili aumentano e diminuiscono, ed invertono la loro direzione, contemporaneamente: in questo caso si dice che le due tensioni *sono in fase* (**figura 14**). Se invece uno dei generatori viene azionato 1/200 di secondo dopo l'altro, le due tensioni non variano contemporaneamente, bensì con un intervallo di tempo definito che può essere espresso in gradi in quanto si tratta di una frazione di ciclo. In questo caso si dice che le due tensioni provenienti dai generatori sono state sfasate, e che la prima è in anticipo rispetto alla seconda, (oppure che la seconda è in ritardo rispetto alla prima) di un numero di gradi che esprime la differenza di tempo, ossia di 90°. La **figura 15** illustra tale fenomeno mostrando come la tensione *e2* sia in ritardo rispetto ad *e1*, in quanto il punto di partenza della prima è a 90° a destra della seconda. Nell'intervallo di tempo tra 180° e 270°, *e2* è positiva ed *e1* è negativa. Si noti che l'asse *X* — detto asse del tempo — va da sinistra a destra, per cui ognuno dei punti che lo costituisce e che si trova a destra di un altro è in ritardo rispetto a quest'ultimo.

La **figura 16** mostra un esempio di due tensioni reciprocamente sfasate di 180°: entrambe raggiungono contemporaneamente i valori di 0 e di massima, ma *e1* è in direzione opposta ad *e2*; esse sono sempre di segno contrario in quanto quando una è positiva, l'altra è negativa. Se tali tensioni sono di eguale valore o ampiezza e scorrono nel medesimo circuito, il valore risultante è zero in quanto le due tensioni si annullano completamente. Se invece esse sono in fase, come detto precedentemente ed illustrato nella figura 14, la tensione risultante equivale alla somma delle due. Per sfasamenti inferiori a 180°, la tensione risultante è la somma vettoriale delle due tensioni.

Differenza di fase. E' importante notare che quando la differenza di fase tra l'inizio delle due tensioni citate precedentemente corrisponde ad un cinquantesimo di secondo, ossia ad un ciclo, le due tensioni *restano in fase,* mentre una differenza di 1 ciclo ed 1/4, ad esempio, può essere espressa come una differenza della sola frazione del ciclo, ossia di 90° (90° = 1/4). Ne consegue che, se la differenza di tempo è un numero intero multiplo di 1 ciclo, le tensioni sono in fase, mentre in qualunque altro caso la differenza di tempo viene espressa semplicemente come la parte frazionale di un singolo ciclo. Inoltre, la differenza di fase è correntemente enunciata in gradi da 0° a 180°, in quanto qualsiasi angolo maggiore di 180°, ad esempio, 210° di anticipo del primo generatore, può essere espresso come una differenza di 150° di ritardo del secondo dato che la somma dei due valori corrisponde a 360°.

Angolo di fase. Il tempo di ritardo, supponiamo di *e2* (t^0 secondi), può essere convertito in un ritardo espresso in gradi elettrici mediante la seguente equazione:

$$\text{gradi elettrici} = t^0 \text{ (secondi)} \times \text{frequenza} \times 360°$$

Ad esempio, se due generatori a 50 c/s c.a. vengono azionati con una differenza di 1 millisecondo, lo sfasamento in secondi equivale a 10^{-3}, per cui detto sfasamento in gradi elettrici equivale a 10^{-3} volte, 50 volte 360°, ossia 18°: si può dire che il generatore che viene azionato per secondo è in ritardo rispetto al primo di 18° (**figura 17**).

MISURE della CORRENTE ALTERNATA

AMPEROMETRI e VOLTMETRI per CORRENTE ALTERNATA

Per effettuare misure in c.a. a frequenza bassa si usano correntemente tre tipi di strumenti: gli strumenti a ferro mobile, che possono misurare tanto la c.c. che la c.a., sia pure con scarsa sensibilità; gli strumenti provvisti di raddrizzatori ad ossido di rame, (raddrizzatore che ha il compito di convertire la c.a. in c.c. onde permettere poi di misurare quest'ultima con uno strumento sensibile adatto solo per c.c.), ed i voltmetri elettronici o voltmetri a valvola che impiegano valvole elettroniche e che vedremo a suo tempo in dettaglio.

Prima di passare qui in rassegna i primi due tipi di strumenti citati, riesporremo succintamente quanto è stato detto sulla c.a. al fine di facilitare la comprensione di come essa possa essere misurata.

Abbiamo teste visto che cosa sia la corrente alternata, come si comporti, come si classifichi ecc. Sappiamo che la corrente alternata scorre periodicamente prima in una direzione e poi in quella opposta, come è illustrato nella **figura 1**. Il tempo necessario affinchè il valore vada da 0 al massimo positivo, ritorni a zero, per poi raggiungere il massimo valore negativo e quindi ritorni ancora una volta a zero, corrisponde al tempo necessario per l'evoluzione di 1 ciclo o periodo o Hertz.

Ci è noto anche che quella parte di un ciclo durante la quale la corrente scorre in un'unica direzione — come illustrato nella figura — si chiama « alternanza » o « semiperiodo » o « semiciclo » o « semionda », e che la frequenza non è altro che il numero di cicli che hanno luogo in un minuto secondo: una c.a., si noti, può avere qualsiasi frequenza.

Forma d'onda viene detta la rappresentazione grafica di una corrente o di una tensione che varia in relazione al tempo. La **figura 2** illustra i valori di ampiezza e la direzione relativi ad ogni istante. Come si vede dalla figura stessa esistono varie forme d'onda, e non solo quella sinusoidale che abbiamo sinora presa in considerazione; vi sono infatti forme d'onda a dente di sega, quadre, ecc.

Valore efficace di un'onda sinusoidale

Il valore medio, aritmetico, del periodo intero di una onda sinusoidale è zero, in quanto i due semiperiodi che la compongono sono eguali e di segno contrario. Le parole « positivo » e « negativo » costituiscono un mezzo sufficientemente comodo per indicare che la corrente inverte la sua direzione, tuttavia è bene avere presente che, dal punto di vista del funzionamento del circuito, essa scorre durante entrambi i semiperiodi, e compie in entrambi il medesimo ammontare di lavoro.

Quando una corrente segue un andamento sinusoidale, la sua ampiezza varia costantemente in ogni alternanza. Il problema della misurazione di una corrente alternata consiste in ciò: le unità elettriche fondamentali di misura, ossia il volt e l'ampère, sono basate sulla c.c., ed è ovvio allora chiedersi in qual modo sia possibile paragonare alla c.c. i valori di tensione e di corrente di un'onda sinusoidale. Appare anzitutto evidente che non si può prendere in considerazione il valore di picco, o di cresta, in quanto tale valore sussiste solo per un breve istante in ogni alternanza.

Per ottenere perciò una relazione ben definita tra c.c. e c.a. si è provveduto a studiare gli effetti termici di entrambe. Si è constatato che una tensione o corrente pari a 0,707 volte il valore di picco di una c.a. produce, in una data resistenza, il medesimo effetto termico: in altre parole, che una corrente alternata produce un effetto termico pari a quello prodotto da una c.c. avente un valore eguale a 0,707 quello della corrente alternata.

Questo concetto è stato visto ed illustrato nella lezione precedente, e si è dimostrato anche come il coefficiente 0,707 derivi dalla radice quadrata di 2. Non sarà male comunque tornare con qualche semplice esempio su questi argomenti sintetizzando ancora le formule di conversione, perchè esse, se ben presenti, facilitano molto, come abbiamo detto, la comprensione del funzionamento degli strumenti di misura relativi.

Ad esempio, supponiamo che un circuito sia percorso da una corrente sinusoidale avente un valore di picco di 5 ampère: tale corrente, sappiamo, ha un effetto termico eguale a quello di una c.c. avente una intensità di $0{,}707 \times 5 = 3{,}535$ ampère.

Il valore di picco moltiplicato per il fattore di conversione citato, e cioè 0,707, si chiama *valore efficace;* pertanto 3,535 ampère è il valore efficace di 5 ampère di picco, ossia:

$$I_{eff} = 0{,}707 \; I_{max}$$

$$I_{max} = \frac{I_{eff}}{0{,}707} = 1{,}414 \; I_{eff}$$

L'effetto termico della corrente è basato a sua volta sulla formula della potenza $P = I^2 R$, la quale deter-

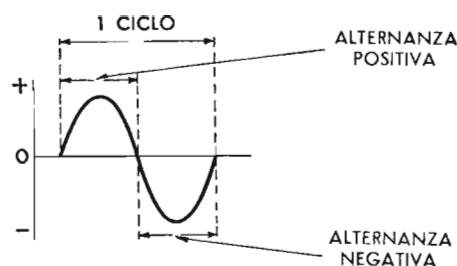



Fig. 1 — Ancora una riproduzione del caratteristico andamento della corrente alternata, con la sua inversione di polarità e la rappresentazione di 1 ciclo. La forma d'onda, ossia la variazione nel tempo, è qui, sinusoidale.

Fig. 2 — Le correnti alternate non sempre seguono l'andamento sinusoidale. Si incontrano spesso, in elettronica, onde a forma di dente di sega o a forma quadra, che vengono rappresentate così come dalla figura. L'aumento e la diminuzione dell'ampiezza si effettuano evidentemente in tempi diversi tra loro.

mina l'ammontare della potenza dissipata in calore. Detto calore varia col variare del quadrato della corrente, e, quando l'onda sinusoidale raggiunge il suo valore di picco, raggiunge l'intensità massima (pari al valore della corrente elevato al quadrato e moltiplicato per la resistenza).

Per trovare la quantità di calore dissipato durante un intero periodo, si eleva al quadrato ogni valore istantaneo della corrente, quindi si trova un valore medio della somma di tali valori, dopo di che se ne estrae la radice quadrata; la quale rappresenta il valore efficace e corrisponde a 0,707 volte il valore di cresta.

Gli strumenti per c.a. sono tarati in modo da indicare il valore efficace della tensione o della corrente di cui si misura rispettivamente l'ampiezza o l'intensità; se uno strumento indica, ad esempio, una corrente di 70,7 mA, ciò vuol dire che si sta misurando una corrente alternata il cui valore di picco è di 1000 milliampère.

Dobbiamo accennare anche ad altri due noti valori relativi ad un'onda sinusoidale che hanno importanza per comprendere come siano tarati gli strumenti: il *valore medio* ed il *fattore di forma*.

Prelevando la media dei valori istantanei della tensione durante una alternanza, abbiamo già visto che:

$$E_{media} = 0{,}637\ E_{max}$$

Il valore efficace è evidentemente maggiore del valore medio in quanto:

$$E_{eff} : E_{media} = 0{,}707 : 0{,}637 = 1{,}11$$

Il fattore 1,11 — noto come « fattore di forma » di un'onda sinusoidale — è perciò il rapporto tra la tensione efficace e la tensione media.

Si tenga presente che i valori efficaci e medi ora enunciati si riferiscono soltanto alle correnti ed alle tensioni sinusoidali.

STRUMENTI a FERRO MOBILE

Gli unici tipi di strumenti a ferro mobile oggi in uso sono quelli ad aletta mobile, e, sebbene possano misurare sia la c.c. che la c.a. vengono normalmente utilizzati solo per la c.a. in quanto, come già abbiamo visto, per la c.c. esistono altri tipi di strumenti più sensibili e maggiormente precisi; gli strumenti a ferro mobile vengono tuttavia ancora impiegati per misurare correnti e tensioni a frequenza bassa, limitatamente a quelle frequenze che sono definite « industriali ».

Già abbiamo esaminato alla lezione 17ª il principio di funzionamento di questo tipo di strumento: ci limiteremo perciò a qualche ulteriore cenno al fine di completare l'argomento. Incidentalmente diremo anche che, nelle apparecchiature elettroniche, gli strumenti a ferro mobile sono usati raramente.

L'equipaggio mobile è basato sul principio già esposto, delle due alette di ferro dolce che si respingono a vicenda quando vengono magnetizzate con la medesima polarità.

Esse vengono collocate all'interno di una bobina che assume il ruolo di elettromagnete quando viene percorsa da corrente. Le linee di forza si allontanano dal polo Nord dell'avvolgimento, si piegano all'esterno in tutte le direzioni e rientrano nella bobina dal polo Sud. All'interno della bobina, diverse linee di forza passano attraverso le alette di ferro in quanto esse hanno una riluttanza inferiore a quella dell'aria, il che ha per risultato che le linee di forza presenti alle estremità delle alette sono molto avvicinate, ed il loro addensamento fa in modo che si allontanino l'una dall'altra.

Se il senso della corrente che si misura e che magnetizza le alette si inverte durante il secondo semiperiodo, la manifestazione del fenomeno non subisce variazioni in quanto le polarità magnetiche del campo e delle alette di ferro dolce si invertono anch'esse contemporaneamente, e queste ultime continuano perciò a respingersi.

Il principio è utilizzato nella costruzione sia di strumenti ad alette radiali che in quelli ad alette concentriche. La differenza tra i due tipi è già stata illustrata (lezione 17ª), comunque esamineremo ora tale differenza con qualche maggiore dettaglio. In entrambi i tipi vi sono molle che esercitano la funzione di « controllo ». Esse offrono una opposizione, opportunamente calcolata, allo spostamento dell'equipaggio mobile, ed hanno anche il compito di riportare l'indice a zero non appena allo strumento non perviene più corrente. L'indice dà quindi una lettura corrispondente al punto in cui la forza di repulsione delle alette è eguale a quella opposta delle molle.

Negli strumenti ad alette radiali, internamente alla

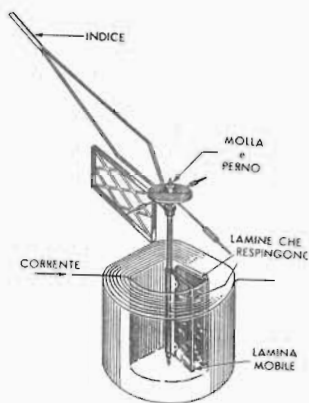



Fig. 3 — Strumento a ferro mobile, con alette radiali. Il perno, rotante e recante l'indice, è solidale con una aletta: l'altra aletta è fissa.

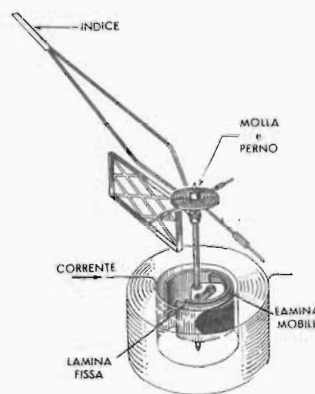



Fig. 4 — Strumento a ferro mobile, con alette concentriche. Le due alette sono l'una nell'altra: il perno, con indice, è solidale con quella interna.

bobina vengono collocate due alette di forma rettangolare; una di esse è fissa, mentre l'altra, solidale con un perno, è libera di ruotare attorno a quest'ultimo il quale, a sua volta, fa da supporto ad un indice (**figura 3**). Il perno è sostenuto da due supporti muniti di rubino, come negli orologi, il che permette il movimento con il minimo attrito e col minimo logorio nel tempo e con l'uso continuato.

Quando la bobina è percorsa da corrente, le alette rettangolari si magnetizzano e si respingono, quella mobile si allontana da quella fissa, spostando contemporaneamente l'indice su una scala graduata e, poichè la deviazione è tanto maggiore quanto maggiore è la intensità del campo magnetico sviluppato, ne consegue che l'indice misura l'ampiezza della tensione presente ai capi della bobina stessa, oppure l'intensità della corrente che la percorre.

Negli strumenti ad alette concentriche, vi è una leggera variante, sebbene essi siano basati sul medesimo principio. In essi, le alette di ferro dolce hanno una forma semicircolare (**figura 4**), e vengono dette concentriche in quanto vengono collocate una nell'altra. Quella fissa si trova all'esterno ed ha una forma leggermente affusolata da un lato, mentre quella mobile è collocata all'interno, è montata sul perno solidale con l'indice, ed ha una forma con angoli vivi.

Quando una corrente scorre attraverso la bobina, le alette diventano sede di linee di forza concentrate, le quali si distribuiscono uniformemente in quella mobile avente, come si è detto, una forma regolare, e non uniformemente in quella fissa avente invece una forma affusolata. Nella parte più stretta di quest'ultima passa perciò un numero inferiore di linee di forza in quanto, essendo minore la quantità del ferro, è maggiore la riluttanza. Le linee di forza così addensate si respingono a vicenda: l'aletta mobile viene ad essere sollecitata ad una rotazione tale da ripristinare l'equilibrio della loro distribuzione, fino a far raggiungere la distanza massima tra le linee. In tal modo, la parte mobile si sposta nella direzione della parte affusolata dell'aletta fissa, perchè questa è la direzione in cui le linee di forza diminuiscono.

Anche in questo caso, l'ammontare dello spostamento è in relazione alla quantità di corrente, ed in entrambi i sistemi, la forza di propulsione deve essere in grado di vincere la forza contraria prodotta dalle molle o comunque dal dispositivo di centraggio dell'indice, che fa sì che esso torni sempre al medesimo punto non appena cessa la causa del suo spostamento.

Nei piccoli strumenti, del tipo ad alette radiali, la bobina è alloggiata in una custodia metallica chiusa e l'equipaggio mobile si adatta in maniera esatta nello spazio disponibile. Non appena si manifesta la forza di repulsione e il movimento, l'aletta comprime l'aria che ha di fronte a sè, per cui la velocità diminuisce. Quando l'indice tende a fermarsi, l'azione di smorzamento tende contemporaneamente a cessare, e l'indice subisce delle oscillazioni di ampiezza decrescente col tempo, (questo, tra l'altro, è uno degli inconvenienti di questo tipo di strumento), finchè si ferma del tutto.

Negli strumenti di maggiori dimensioni, invece, una ulteriore leggera aletta di alluminio (**figura 5**) è solidale col perno rotante: essa a sua volta è collocata in una custodia a tenuta d'aria, nella quale è libera di muoversi per tutta la rotazione del perno; la resistenza al movimento è molto maggiore che nel primo caso e di conseguenza lo smorzamento più pronto ed efficace.

In questo caso si evita di dover attendere molto, prima che l'indice si fermi sul valore corrispondente alla misura che si sta effettuando.

Ulteriori caratteristiche

Le alette concentriche fanno sì che l'indice dia letture in accordo alla *legge quadratica* piuttosto che alla proporzione diretta nei confronti dell'ammontare della corrente.

Ad esempio, se la corrente viene raddoppiata, raddoppia contemporaneamente l'intensità del campo magnetico presente nelle alette ed intorno ad esse, e poichè *entrambe* si respingono con una forza *doppia*, ne consegue che la forza di repulsione sviluppata è quadrupla.

La repulsione — e quindi lo spostamento dell'indice — *non variano direttamente* col variare della corrente, bensì col variare del *quadrato* della corrente stessa. In altre parole, se essa viene raddoppiata, la deflessione è quadrupla, se triplicata essa è nove volte maggiore, e così via.

Per questo motivo si dice che la scala non è lineare e che la deflessione segue appunto un andamento quadratico: infatti la distanza tra i numeri indicanti i vari

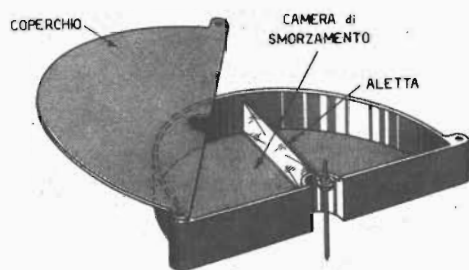



Fig. 5 — A volte, negli strumenti a ferro mobile, si ha una camera di smorzamento, a tenuta d'aria, con apposita aletta interna, per diminuire le oscillazioni dell'indice.

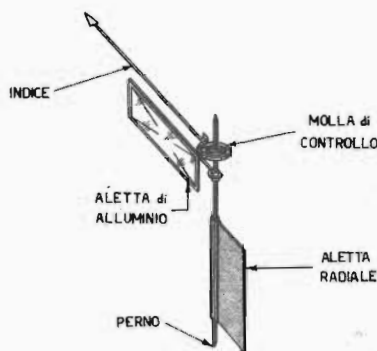



Fig. 5 bis — Particolare dell'equipaggiamento che sfrutta il sistema di smorzamento a lato indicato.

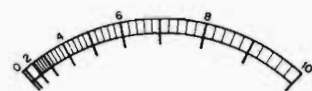



Fig. 6 — La scala degli strumenti a ferro mobile non è lineare, bensì ad andamento quadratico, come risulta da questa illustrazione ove il valore 5 è ad un quarto di scala rispetto al valore 10.

valori — o le lineette che li rappresentano — è minima al principio della scala ed aumenta man mano che essa si estende verso l'estremità opposta. In una scala realmente quadratica, qualsiasi punto che rappresenti un valore doppio di un punto precedente rappresenta anche una deflessione quadrupla. Ad esempio, la **figura 6** illustra una scala in cui la deflessione completa indica 10, mentre la quarta parte indica 5; il raddoppio della corrente porta ad una deflessione quattro volte maggiore.

Quando la bobina viene percorsa da una corrente sinusoidale, questa non è di valore fisso bensì, data appunto la sua natura, varia costantemente: in altre parole, se si misura una corrente a 50 c/s (cicli al secondo) come ben sappiamo, essa va da zero al valore massimo ed ancora a zero in un senso, per poi ripetere la cosa nel senso opposto, il tutto 50 volte al minuto secondo. Le linee di forza in conseguenza di ciò, cambiano continuamente sia l'intensità che la direzione: l'ammontare della forza di repulsione reciproca tra le alette varia perciò da zero al massimo, e quindi ancora a zero, 100 volte al minuto secondo, in quanto la repulsione è massima durante entrambe le alternanze, sia quella positiva che quella negativa.

L'indice dello strumento resta tuttavia fermo in un punto poichè la sua inerzia — dovuta al peso, ossia alla sua massa — gli impedisce di seguire le variazioni istantanee. Per esso è fisicamente impossibile cambiare posizione 100 volte al secondo; l'indice assume pertanto una posizione che indica il valore medio delle linee di forza presenti in ogni alternanza, valore a sua volta dipendente dal valore medio della corrente, che corrisponde a 0,637 volte la corrente di picco: questo è il valore indicato dallo strumento.

Per apprezzarne il reale significato, le misure in c.a. devono però essere effettuate in termini di valore efficace, ossia del valore termico equivalente in c.c. Per questa ragione le scale sono tarate in valori efficaci invece che in valori medi relativamente ad onde sinusoidali. Supponiamo, ad esempio, che si debba tracciare una scala per uno strumento nuovo, e che ai suoi capi venga collegata una tensione sinusoidale con un valore di picco di 100 volt. In questo caso l'indice indica il valore medio, pari a 63,7 volt, ma questo punto viene contrassegnato col valore efficace di 70,7 volt ($E\ eff = 0{,}707$ volte 100, ossia 70,7) e così il resto della scala, che viene tarato in valori efficaci e non in valori medi.

La maggior parte degli strumenti per c.a. è tarata sulla base di una corrente sinusoidale (di frequenza pari a quella della rete luce), tuttavia non tutte le correnti dei circuiti radio hanno andamenti sinusoidali e frequenze dell'ordine di quelle della rete, per cui se uno strumento per c.a. viene usato per misurare correnti o tensioni non sinusoidali, non si ottiene una lettura esatta bensì soltanto una indicazione approssimativa.

Per quanto riguarda il comportamento alle diverse frequenze che la corrente da misurare può presentare, diremo anzitutto che, generalmente, gli strumenti a ferro mobile non vengono utilizzati per misurare c.a. la cui frequenza sia superiore a 100 c/s.

La reattanza induttiva di una bobina ($X_L = 2\pi fL$) aumenta con l'aumentare della frequenza, e provoca quindi una diminuzione della corrente che la percorre: a causa di ciò si hanno letture inesatte se uno strumento del genere viene adottato per effettuare misure in c.a. la cui frequenza sia più alta di quella della normale corrente di rete. Le perdite nel nucleo (per isteresi e per correnti parassite) aumentano inoltre nelle alette con l'aumentare della frequenza, e costituiscono quindi una ulteriore fonte di errore.

La tolleranza sulla lettura dichiarata, per la maggior parte degli strumenti a ferro mobile, è dell'ordine del $\pm$ 5 %.

Una vite esterna, posta sulla parte frontale dello strumento, agisce sul punto di ancoraggio di una delle molle, e permette quindi di spostare tale punto per portare l'indice al valore di zero in assenza di corrente.

Per evitare che eventuali campi magnetici esterni influenzino le letture, si usa montare gli strumenti in un involucro metallico (di ferro), il quale forma custodia e schermo magnetico nello stesso tempo.

Nel caso del voltmetro, la bobina dello strumento a ferro mobile è costituita da un avvolgimento di molte spire di filo sottile; è allora possibile usare una resistenza addizionale in serie, allo scopo di estendere la portata al valore desiderato.

Nel caso dell'amperometro il numero di spire è molto inferiore ed il filo è di spessore maggiore. Gli amperometri a ferro mobile possono essere usati per misurare notevoli intensità di corrente senza l'uso di re-

Fig. 7A — **Rappresentazione pratica e schematica di un assieme rettificatore-strumento a bobina mobile, per letture di corrente alternata. Raddrizzamento di 1 sola semionda.**

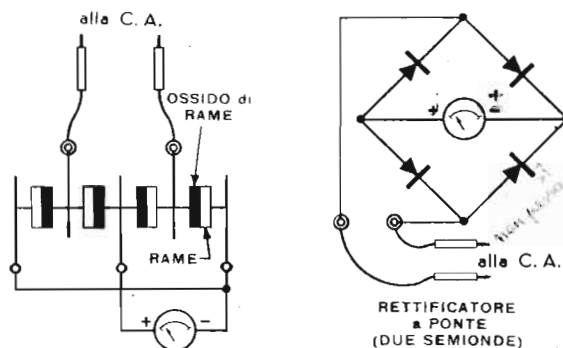
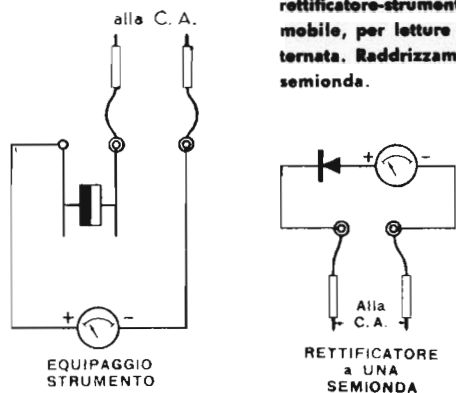



Fig. 7B — **Rappresentazione pratica, e a lato, schematica di un assieme rettificatore-strumento a bobina mobile, per letture di corrente alternata. Il raddrizzamento per entrambe le semionde, è ottenuto con circuito a ponte.**

sistenze in derivazione o « shunt », tuttavia, a causa della loro scarsa sensibilità, non possono misurare correnti deboli come è possibile fare con gli strumenti a bobina mobile dei quali si è già parlato.

La massima sensibilità utile, ottenibile, raggiunge i 15 mA f.s., pari a 67 ohm/volt.

Concludendo, si può affermare che questi tipi di strumenti sono utili per misurare correnti e tensioni alla frequenza di rete, ma, come si è già detto, a causa della loro scarsa sensibilità, non vengono impiegati per l'analisi dei circuiti: essi hanno infine la caratteristica di un basso costo.

STRUMENTI con RADDRIZZATORI ad OSSIDO

Nell'analisi dei circuiti, la maggior parte delle misure di c.a. a frequenza bassa viene effettuata con strumenti a bobina mobile provvisti di rettificatori ad ossido di rame. Sensibilità e precisione sono molto maggiori di quelle degli strumenti a ferro mobile.

Nella maggior parte degli analizzatori o « tester » — ossia degli strumenti destinati a vari tipi di misure — è compreso un circuito del tipo citato: in tal modo è possibile misurare tensioni e correnti sia in c.a. che in c.c. col medesimo strumento.

Lo strumento con rettificatore ad ossido è, pertanto, una combinazione tra uno strumento per c.c. a bobina mobile (movimento d'Arsonval) ed un raddrizzatore: mediante quest'ultimo la c.a. viene trasformata in c.c. (dopo tale trasformazione è detta **pulsante**) e come tale misurata dallo strumento per c. continua.

Il rettificatore o raddrizzatore ad ossido di rame, consiste in diversi dischetti di rame ognuno dei quali porta su una delle superfici uno strato di ossido. Essi sono separati mediante ranelle di piombo, e stretti l'uno contro l'altro a mezzo di un prigioniero (vite con dado) isolato. Il tipo di raddrizzatore in questione può essere realizzato sia per raddrizzare una sola semionda, sia per raddrizzarle entrambe (**figura 7**).

Il compito di un raddrizzatore consiste, si è detto, nel convertire la c.a. in una specie di c.c.; di conseguenza, a differenza della corrente che entra in esso, quella che ne esce non cambia più periodicamente la sua direzione.

La resistenza di conduzione dal rame all'ossido è molto bassa in confronto a quella che sussiste dall'ossido al rame, ossia nel senso opposto. A causa di ciò il passaggio di corrente può avvenire in una sola direzione. Il dispositivo viene denominato « raddrizzatore » ed è perfettamente analogo al diodo rivelatore che abbiamo visto impiegato con l'Alta Frequenza nei semplici ricevitori radio descritti (lezioni 7ª - 8ª - 9ª).

Rettificazione di una semionda. Quando una c.a. viene applicata ad un rettificatore in serie ad una resistenza, (**figura 8A**), la corrente passa attraverso il rettificatore stesso dalla punta della freccia verso il lato piatto, (che rappresentano rispettivamente il rame e l'ossido), e non nel senso opposto in quanto, in questo caso, la corrente incontra una resistenza molto alta; di conseguenza la corrente che percorre la resistenza non inverte la sua direzione, ossia non è più c.a. bensì *corrente continua pulsante*.

Da ciò possiamo dedurre che, se si rettifica una sola semionda, la corrente che scorre nella resistenza è presente soltanto durante un semiperiodo della corrente alternata, e non durante l'altro; ciò significa che la corrente pulsante (come illustrato nella sez. A della figura), se è espressa graficamente assume un aspetto in cui si ha un inizio dal valore zero, seguito da un aumento fino al valore massimo, dopo di che il valore scende nuovamente a zero, sempre nella medesima direzione. Quest'ultimo valore viene mantenuto per tutto il tempo in cui si svolge l'altro semiperiodo, al termine del quale il processo si ripete.

Rettificazione di due semionde. Si può fare in modo che la corrente scorra attraverso la resistenza durante entrambi i semiperiodi e nella medesima direzione (rettificazione dell'onda intera), mediante l'impiego di un raddrizatore a ponte, come è illustrato nella sez. **B** della stessa figura 8.

Quando l'alternanza positiva viene applicata al radrizzatore *1*, la corrente scorre dal generatore attraverso il raddrizzatore *2*, la resistenza *R da sinistra a destra,* attraverso il raddrizzatore *1* nel senso possibile (ossia dal rame all'ossido) e torna quindi al generatore. Nell'alternanza successiva la polarità della tensione generata si inverte: la corrente scorre dal generatore attraverso il raddrizzatore *4*, la resistenza *R*, ancora *da sinistra a destra*, il raddrizzatore *3* e quindi torna al generatore. Si può notare che, durante l'intero ciclo, pur trattandosi di una corrente che ha invertito

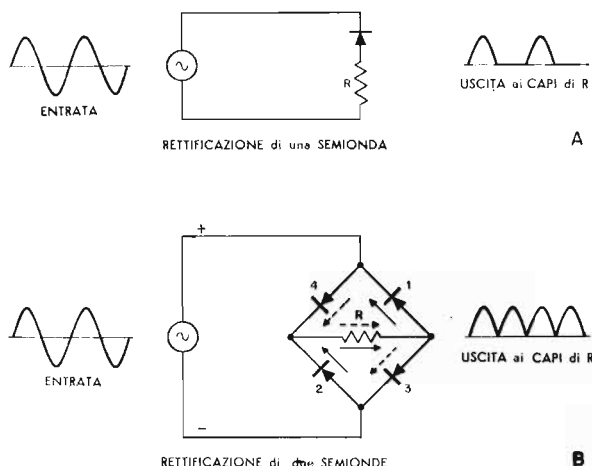



Fig. 8A e B — È posta in evidenza la forma che la corrente assume all'uscita di un rettificatore ad 1 semionda (A) e a 2 semionde (B). Per il primo caso, si noterà la corrispondenza con quanto esposto alla lezione 3ª, a pag. 52.

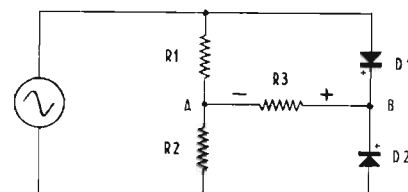



Fig. 9 — Sistema in « controfase » per la rettificazione di entrambe le semionde. Si ottiene, ai capi di R3, una tensione pulsante pari a metà di quella alternata applicata.

la sua direzione, la corrente presente nella resistenza ha continuato a scorrere nel medesimo senso. La c.a. è quindi diventata corrente pulsante continua: pulsante in quanto l'ampiezza non è costante, e continua in quanto la direzione non si è invertita.

E' possibile rettificare le due semionde con un altro sistema detto « in controfase »; esso è illustrato alla **figura 9.**

In questo caso, l'intera tensione viene applicata a due resistenze in serie tra loro e di eguale valore, le quali a loro volta sono in parallelo a due reddrizzatori eguali ma opposti l'uno all'altro nel senso di conduzione.

Quando l'alternanza positiva è applicata al raddrizzatore *1*, la corrente trova una alta resistenza, per cui può passare soltanto attraverso il raddrizzatore *2*, e quindi attraverso *R3*, dopo di che ritorna al generatore attraverso *R2*, mentre, durante l'altra alternanza, la corrente percorre il circuito del raddrizzatore *1*, *R3*, nel medesimo senso dell'alternanza precedente, e quindi torna al generatore attraverso *R1*.

Vedremo in seguito l'importanza e l'utilità di questo sistema, comunque è bene sapere già sin d'ora che in questo caso la tensione raddrizzata è pari alla metà di quella alternata, in quanto praticamente viene rettificata soltanto la tensione presente ai capi di una delle resistenze del partitore, ossia, alternativamente *R1* ed *R2*. La tensione continua è presente tra i punti *A* e *B*.

USO degli STRUMENTI per C.C. e dei RADDRIZZATORI

Sostituendo uno strumento a bobina mobile alle resistenze che compaiono nella figura 8, è possibile effettuare misure in c. alternata. Quest'ultima, trasformata — come abbiamo testè visto — in corrente pulsante grazie all'azione del raddrizzatore, passa attraverso lo equipaggio mobile dello strumento, permettendo all'indice di indicare il valore medio della corrente stessa. Come nel caso dello strumento a ferro mobile, l'inerzia dell'equipaggio impedisce all'indice di seguire le variazioni di ampiezza.

La corrente media che percorre la bobina nel caso di rettificazione delle due semionde differisce da quella che si ha nel senso di rettificazione di una semionda sola. Nel primo caso, il valore medio è pari a 0,637 volte il valore di cresta poichè si utilizza l'intero ciclo: l'indice assume allora una posizione corrispondente al valore di picco moltiplicato per 0,637. Tuttavia, come enunciato, la scala è tarata in valore efficace, ossia il valore indicato dall'indice sarà 0,707 volte il valore di cresta.

Nel caso invece di rettificazione di una sola semionda, la corrente della bobina mobile sarà presente durante un solo semiperiodo. A causa della sua inerzia, l'indice non potrà seguire tutte le variazioni di ampiezza durante l'intero ciclo. Sappiamo che il valore medio durante un semiperiodo è pari a 0,637 volte il valore di picco, ma durante l'altro semiperiodo esso è zero, per cui la corrente media del ciclo completo è pari alla somma delle due alternanze divisa per due.

La corrente media del ciclo completo è data da $(0{,}637 - 0) : 2 = 0{,}318$ volte al valore di picco. In tali condizioni l'indice assume allora una posizione che indica 0,318 volte la corrente di picco. Tuttavia, questo punto può essere contrassegnato egualmente col valore efficace corrispondente a 0,707 volte la corrente, dato che il rapporto si mantiene costante su tutta la scala.

Circuiti pratici di strumenti con raddrizzatori

Per effettuare misure di tensione, è necessario collegare resistenze addizionali in serie all'equipaggio mobile ed al raddrizzatore. In seguito a ciò, l'efficienza di quest'ultimo viene ridotta, in quanto nessun raddrizzatore può essere perfetto, ed esiste sempre una certa resistenza. Nella fase di conduzione la resistenza del raddrizzatore è bassa; ma la resistenza sul senso opposto non è infinita, ed è generalmente, solo 50 volte quella di conduzione.

Vediamo ora come l'aggiunta di un'alta resistenza in serie al raddrizzatore diminuisca la sua efficienza. Supponiamo, ad esempio, che un equipaggio mobile presentante una resistenza di 50 ohm venga collegato in serie ad un raddrizzatore avente una resistenza di conduzione di 1.000 ohm. In tal caso lo strumento viene ad avere una resistenza interna di 1.050 ohm in un senso, e di 50.050 ohm nell'altro. Agli effetti pratici, la corrente scorre nello strumento in una sola direzione (vedi sez. **A** della figura **10**). Supponiamo ancora che la tensione da misurare sia elevata, e che sia perciò necessario porre una resistenza da 100.000 ohm

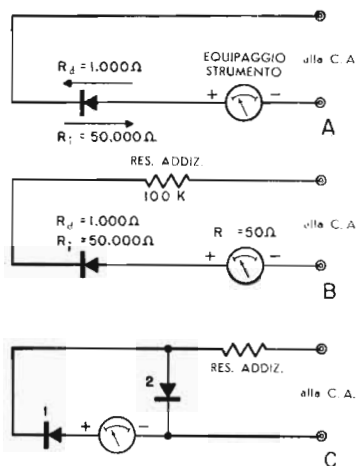



Fig. 10 — Nel circuito A la resistenza è di 1050 ohm in un senso, e di 50.050 nell'altro, ma, se si deve aggiungere una resistenza elevata, come in B, si ha 101.050 contro 150.050 ohm e la differenza risulta percentualmente scarsa; per rimediare si adotta lo schema C.

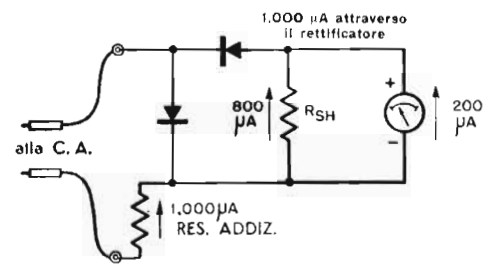



Fig. 11 — Se si inserisce uno « shunt » (R_{SH}) allo strumento, si ha sempre un più elevato passaggio di corrente nei raddrizzatori, ciò che elimina l'influenza delle differenti resistenze degli stessi a regimi diversi di corrente.

in serie al circuito, come nella sez. **B** della medesima figura.

In una alternanza, la resistenza totale comprende la resistenza addizionale di 100.000 ohm, la resistenza di conduzione *Rd* del raddrizzatore (ossia 1.000 ohm) ed infine la resistenza della bobina mobile *R* di 50 ohm, per cui ammonta a 101.050 ohm. Nell'alternanza successiva il raddrizzatore non conduce, ed essendo allora la sua resistenza di 50.000 ohm, quella totale assume il valore di 150.050 ohm (figura 10B).

Le due resistenze, presenti nei due semiperiodi, sono perciò rispettivamente di 101.050 e di 150.050 ohm; la differenza come si vede non è elevata, quindi la corrente che scorre è pressochè eguale nei due sensi. In conseguenza di ciò la deflessione dell'indice è piccola, e corrisponde alla sola differenza tra i due valori.

Per rimediare alla rettificazione insufficiente derivante dall'aggiunta di una resistenza addizionale in serie di valore elevato, si usa generalmente un raddrizzatore a doppia semionda, come nella sez. **C** della figura 10: in un primo semiperiodo si verifica la rettificazione di una semionda, per cui la corrente passa attraverso lo strumento ed il raddrizzatore *1*; durante il semiperiodo successivo la corrente passa attraverso il rettificatore *2*, trascurando lo strumento ed il primo raddrizzatore.

Esigenze ulteriori

La resistenza di conduzione di un raddrizzatore varia col variare dell'ammontare della corrente che lo percorre, e varia inoltra da elemento a elemento. Per compensare tale inconveniente — ossia per evitare errori nelle indicazioni — il circuito dello strumento deve essere accuratamente progettato.

Dal momento che la resistenza di conduzione può variare da 2.000 a 500 ohm per una variazione di corrente nel raddrizzatore da 0,1 ad 1 mA, la taratura dello strumento non risulta lineare. Se si collega uno « shunt » in parallelo alla bobina mobile, ed entrambi vengono collegati in serie ad un raddrizzatore, (**figura 11**), la difficoltà è parzialmente eliminata.

Ad esempio, se lo strumento ha una sensibilità di 200 μA e la resistenza dello « shunt » è 1/4 di quella della bobina mobile, la corrente che percorre tale « shunt » sarà il quadruplo di quella che percorre l'equipaggio mobile; quando l'indice si trova a fondo scala, 800 μA scorrono nello « shunt », 200 μA nella bobina mobile, ed una corrente totale di 1.000 μA — ossia 1 mA — scorre attraverso il raddrizzatore. In questo caso, anche nelle letture più basse, il rettificatore viene percorso da una notevole corrente grazie all'uso dello « shunt», per cui la sua variazione di resistenza è trascurabile.

Tuttavia, dal momento che in questo caso la resistenza viene percorsa da una corrente di 1mA per l'intera deflessione dell'indice, lo strumento viene ad avere in effetti una bobina mobile da 1 mA invece che da 200 μA. E' cosa comune trovare in commercio degli strumenti multipli o multimetri, aventi una sensibilità in *ohm per volt* differente per le portate in c.c. da quella per le scale a c.a.; nei modelli più comuni, le portate in c.a. sono a 1.000 ohm per volt e, nei tipi migliori a 5.000 ohm per volt ed anche più.

La scala può essere pressochè lineare se i valori degli « shunt » vengono scelti in modo appropriato, per cui essa potrebbe essere utilizzata sia per le portate in c.c. che per quelle in c.a. tuttavia, i multimetri o « tester » sono quasi sempre muniti di scale con contrassegni separati per la c.a. (**figura 12**).

I circuiti degli strumenti possono comprendere una o più resistenze variabili per compensare le variazioni che possono verificarsi se il raddrizzatore dovesse essere sostituito (*R1* e *R2* nella **figura 13**). Per la taratura, si applica una tensione di valore noto, dopo di che, dette resistenze vengono variate fino ad ottenere una lettura esatta da parte dello strumento, ossia coincidente con la sua scala; fatto ciò la ritaratura è ultimata.

CARATTERISTICHE dei RADDRIZZATORI ad OSSIDO di RAME

I rettificatori ad ossido di rame possono avere una lunga durata se non vengono sovraccaricati, ma si deteriorano rapidamente se vengono impiegati ad una temperatura al di sopra dei 70° C. Un elemento tipico, la cui superficie sia di circa 5 mm², può rettificare una corrente di 15 mA e sopportare una tensione massima di 11 volt.

Precisione e responso di frequenza. Dal momento che l'inesattezza dello strumento si aggiunge a quella

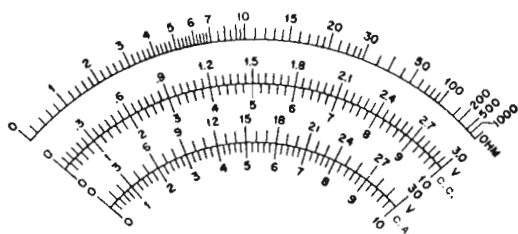



Fig. 12 — La diversa sensibilità dei complessi di misura (« tester ») alla corrente alternata ed alla corrente continua porta alla presenza di scale separate per i due tipi di misura, come dal disegno di cui sopra.

Fig. 13 — R_1 ed R_2 sono resistenze a valore regolabile, utili per la taratura del misuratore: se si devono sostituire i raddrizzatori, con la loro regolazione si può ripetere la taratura.

del raddrizzatore, la precisione dell'assieme si aggira di solito intorno al $\pm$ 5%.

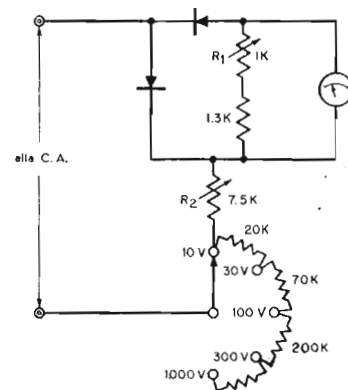
Quando la frequenza della tensione o della corrente da misurare aumenta, la lettura — ossia l'indicazione da parte dell'indice — diminuisce in proporzione. Ciò avviene a causa della capacità (circa 900 pF) dell'unità rettificatrice ad ossido di rame. Infatti, ad ogni aumento della frequenza, corrisponde una diminuzione della reattanza capacitiva che si comporta come un passaggio a bassa resistenza in parallelo all'elemento stesso. Le letture rispetto alla frequenza di rete diventano già dal 0,5 all'1% inferiori per frequenza attorno ai 1.000 Hertz.

Per questo motivo, gli strumenti in questione non vengono impiegati per effettuare misure con frequenze superiori a quelle udibili (fino a 16.000 Hz). Ad esempio, se si misura una corrente avente una frequenza di 5.000 Hz, lo strumento darà una lettura inferiore a quella effettiva di un ammontare variabile dal 2,5% al 5% a seconda del tipo usato.

Ricorderemo infine che la scala tende ad essere non uniforme verso il lato più basso a causa della variazione di resistenza del raddrizzatore col variare della corrente che lo percorre, come già abbiamo visto.

Gli strumenti provvisti di rettificatore ad ossido di rame possono essere usati sia per misure di tensione che di corrente: l'impiego più frequente tuttavia è quello come voltmetri. Nei confronti dei tipi già visti, a ferro mobile, essendo gli strumenti in questione di sensibilità molto maggiore, si ha un'influenza sulle caratteristiche del circuito sotto prova pressochè trascurabile.

CONFRONTO tra STRUMENTI per C.C. e C.A.

Gli strumenti per c.a. sono tarati sul valore efficace di un'onda sinusoidale, sebbene corrispondano al valore medio. Quando un misuratore per alternata viene inserito ai capi di una c.c. la lettura è pari a 1,11 volte il valore effettivo, (fattore di forma). Nel caso contrario, quando cioè uno strumento per c.c. viene usato per misurare una c.a., non si ottiene alcuna lettura; a causa della sua inerzia, l'equipaggio mobile non è in grado infatti di seguire le variazioni della corrente, per cui l'indice rimane a zero oppure vibra impercettibilmente. Ciò non significa però che non passi alcuna corrente attraverso lo strumento; infatti, in queste condizioni è facile deteriorare uno strumento, adattato ad una portata bassa, collegandolo ad una tensione alternata alta, anche se non si nota alcuna deviazione da parte dell'indice.

Nell'uso di uno strumento per c.a. non è necessario osservare la polarità dato che, come sappiamo, essa si inverte continuamente.

Nel caso si debbano misurare correnti alternate ad andamento non sinusoidale, è necessario controllare non solo l'ampiezza, ma anche la frequenza e la forma d'onda. Per questi scopi si usano allora altri strumenti che vedremo a suo tempo: tra essi prevale in particolare modo un'apparecchiatura oggi sempre più diffusa: **l'oscillografo.** Tale utilissimo strumento sarà dettagliatamente analizzato e presentato in apposite lezioni; esse recheranno anche un'ampia descrizione relativa alla costruzione di un moderno esemplare.

Un altro strumento molto importante ed abituale nei laboratori di radiotecnica è, come abbiamo detto all'inizio di lezione, il **voltmetro elettronico,** detto anche voltmetro a valvola. Per logiche ragioni di programma non abbiamo ancora affrontato l'argomento valvole termoioniche, ma ad esse abbiamo fatto cenno qualche volta: la valvola è un prezioso dispositivo che può svolgere molte funzioni nei circuiti elettronici, in particolare, funzioni di amplificazione. Opportunamente sfruttando le caratteristiche di una valvola si possono realizzare — in uno studiato abbinamento con lo strumento indicatore a bobina mobile — apparecchiature di lettura di tensioni sia a corrente continua che, soprattutto, a corrente alternata a radiofrequenza, di sensibilità molto spinta e di resistenza di carico (sul circuito sotto misura) elevatissima. La sensibilità, per i tipi di apparecchiature più correnti, arriva spesso all'ordine del millivolt (millesimo di volt) e la resistenza, o meglio l'impedenza di ingresso, a valori attorno ai 10 Megaohm. A corredo dei voltmetri a valvola sono quasi sempre offerte speciali « sonde » che consentono ulteriori, particolari prestazioni: così, mediante un dato tipo, si può estendere, ad esempio, la gamma di frequenza entro la quale le letture sono attendibili sino a 200-300 Megahertz. Un'altra sonda permette letture di picco della tensione alternata sulle scale per corrente continua, un'altra ancora, estende sino a 30.000 volt la possibilità di lettura. Tali sonde, realizzate a puntale, sono interposte, all'esterno, tra il voltmetro ed il punto di lettura.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

C.A. (oppure c.a.) = Corrente alternata
C.C. (oppure c.c.) = Corrente continua
E (oppure e) . . = Tensione
E_{eff} . . . . . . = Tensione efficace
E_m . . . . . . = Tensione media
E_{max} . . . . . . = Tensione massima (o di picco, o di cresta)
I_{eff} . . . . . . = Corrente efficace
I_m . . . . . . = Corrente media
I_{max} . . . . . . = Corrente massima (o di picco, o di cresta)
v . . . . . . = Velocità in genere

FORMULE

e (in volt) $= B \times l \times v \times \text{sen}\ \vartheta \times 10^{-8}$

$E_{eff} = \frac{E_{max}}{1{,}414}$ $\quad E_{eff} = E_{max} \times 0{,}707$ $\quad E_{eff} = E_m \times 1{,}11$

$E_m = \frac{2E_{max}\ \text{(area del semiperiodo)}}{\text{lunghezza della base}}$ $\quad E_m = \frac{E_{max}}{\frac{\pi}{2}}$

$E_m = E_{max} \times 0{,}637$ $\quad E_m = E_{eff} \times 0{,}9$

$E_{max} = E_{eff} \times 1{,}414$ $\quad E_{max} = E_m \times \frac{\pi}{2}$

$I_{eff} = I_{max} \times 0{,}707$ $\quad I_{eff} = \frac{I_{max}}{1{,}414}$

$I_m = I_{max} \times 0{,}637$ $\quad I_m = \frac{2\ I_{max}\ \text{(area del semiperiodo)}}{\text{lunghezza della base}}$

$I_{max} = \frac{I_{eff}}{0{,}707}$ $\quad I_{max} = \frac{I_m}{0{,}637}$ $\quad I_{max} = I_{eff} \times 1{,}414$

In un generatore c.a.,

$$f = \frac{P \times N}{2 \times 60} = \frac{P \times N}{120}\ \text{Hz}$$

F.e.m indotta (in volt) = linee tagliate al sec. $\times 10^{-8}$
Gradi elettrici = t_o (secondi) $\times$ f $\times$ 360°

SEGNI SCHEMATICI

 = Forma d'onda sinusoidale

 = Forma d'onda a dente di sega

 = Forma d'onda quadra

= Due elementi rettificatori in controfase

 = Quattro elementi rettificatori a ponte

DOMANDE sulle LEZIONI 22ª e 23ª

N. 1 —

Cosa si intende per corrente alternata? In cosa essa differisce dalla corrente continua?

N. 2 —

Quali sono gli svantaggi principali derivati dall'uso della corrente continua nei confronti della corrente alternata?

N. 3 —

Quali sono le maggiori scoperte scientifiche nel campo dell'elettricità dovute rispettivamente a Oersted, Faraday ed Henry?

N. 4 —

Quali sono i principali fattori che determinano l'ampiezza di una f.e.m. indotta in un conduttore che si muove in un campo magnetico?

N. 5 —

Con quale formula si calcola la tensione indotta in un conduttore che si muove in un campo magnetico con un certo angolo?

N. 6 —

Come si comporta l'ampiezza della f.e.m. indotta in un conduttore che ruota in un campo magnetico con angoli di rotazione di 90° e 0°?

N. 7 —

Come si determina la direzione di una f.e.m. indotta da un campo magnetico?

N. 8 —

Quali sono le caratteristiche fisiche di un generatore a due poli?

N. 9 —

Perchè si usa una curva sinusoidale per rappresentare una corrente alternata?

N. 10 —

Come si determina la frequenza della tensione prodotta da un generatore di corrente alternata, in funzione del numero dei poli e della velocità di rotazione?

N. 11 —

Definire i valori di tensione istantanea, di picco, ed efficace.

N. 12 —

Quale relazione intercorre tra tempo e fase in una corrente alternata?

N. 13 —

Quando due correnti sono in fase oppure sfasate?

N. 14 —

Con quali strumenti si può misurare indifferentemente sia in c.c. che in c.a. e, senza apportare alcuna modifica e senza aggiungere alcun componente?

N. 15 —

Come è possibile misurare correnti alternate con uno strumento provvisto di magnete permanente?

N. 16 —

Quanti tipi di rettificatori esistono?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 161

N. 1 —

a) La resistenza totale ammonta a 16,2 ohm circa, **b)** La corrente totale ammonta a 7,4 ampère, e **c)** Le correnti individuali sono: $I_1 = 2$ ampère, $I_2 = 2,4$ ampère e $I_3 = 3$ ampère.

N. 2 —

Il segno che precede la sorgente di f.e.m. è positivo se il primo segno incontrato nel percorso, passando attraverso la sorgente stessa è positivo, e viceversa. Il segno che precede la caduta di tensione ai capi di un carico è negativo se la direzione del percorso è la medesima degli elettroni (ossia della corrente) attraverso il carico stesso, e viceversa.

N. 3 —

L'errore eventuale non influisce minimamente sul valore dell'intensità di corrente calcolata. Il segno che precede la corrente sarà però invertito.

N. 4 —

I valori ohmici delle resistenze *A*, *B*, *C* e *D* sono rispettivamente 5 kohm, 3,33 kohm, 4 kohm e 2,22 kohm.

N. 5 —

a) Le correnti che scorrono attraverso R5, R6 ed R7 sono rispettivamente di 7, 11 e 17 milliampère.

b) Le tensioni presenti ai capi di R1, R2 ed R3 sono rispettivamente di 70, 180 e 350 volt.

N. 6 —

Il compito di un attenuatore è di ridurre — ossia di attenuare — la tensione, la corrente o la potenza fornita ad un carico, senza peraltro alterare il rapporto tra tensione e corrente (ossia la resistenza) presente tra i terminali di ingresso.

N. 7 —

R_s e la resistenza presente tra A e B sono eguali tra loro.

R1 è di 160 ohm, R2 di 50 ohm.

N. 8 —

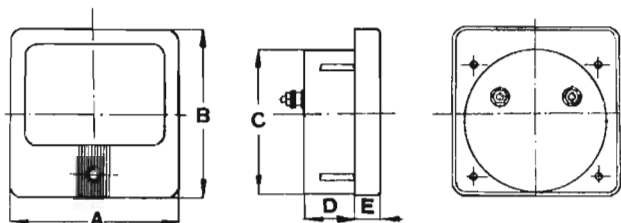
La resistenza presente tra *a* e *b*, e quella presente tra *e* ed *f* sono eguali tra loro.

R1 ed R3 sono di 20 ohm cisacuna, ed R2 è di 80 ohm.

N. 9 —

$I_1 = 3$ ampère; $I_3 = 2$ ampère.

TABELLA 39 - CARATTERISTICHE di STRUMENTI a BOBINA MOBILE

Riportiamo, nella tabella a lato, un elenco delle caratteristiche elettriche e meccaniche di alcuni strumenti di produzione nazionale. In particolare, per ogni modello, viene dato il valore della resistenza ohmica della bobina mobile (con tolleranza del 10% circa), utile per il calcolo degli « shunt », delle resistenze addizionali, e dei circuiti ohmetrici, a chi volesse progettare un « tester ». Tale valore è elencato nel medesimo ordine delle relative portate in mA, che figurano nella seconda colonna.

Marca e modello	Portate f. s. mA	Dimensioni in millimetri A	B	C	D	E	Resistenza bob. mobile ohm
I.C.E.							
300	0,05-0,1 0,5 -1	73	73	69	31	4,5	1.750-1.750 210- 50
320	0,05-0,1 0,5 -1	80	80	69,5	25	12	1.750-1.750 210- 50
340	0,05-0,1 0,5 -1	78	78	69,5	30	4,5	1.750-1.750 210- 50
360	0,05-0,1 0,5 -1	90	80	69	25	12	1.750-1.750 210- 50
500	0,05-0,1 0,5 -1	60	60	55	31	5	1.750-1.750 210- 50
520	0,05-0,1 0,5 -1	60,5	60,5	55	25,5	12,5	1.750-1.750 210- 50
540	0,05-0,1 0,5 -1	70	60	55	25,5	13	1.750-1.750 210- 50
800	0,05-0,1 0,5 -1	109	102	83	33,5	19	1.750-1.750 210- 50
840	0,05-0,1 0,5 -1	125	100	94	32	15	1.750-1.750 210- 50
860	0,05-0,1 0,5 -1	125	100	—	32	13	1.750-1.750 210- 50
Cristal A	0,05-0,1 0,5 -1	90	80	69	25	12	1.750-1.750 210- 50
Cristal B	0,05-0,1 0,5 -1	125	100	69	22	15	1.750-1.750 210- 50
Cristal C	0,05-0,1 0,5 -1	73	73	69	31	4,5	1.750-1.750 210- 50
CASSINELLI							
CI 15 Q	0,05-0,1 0,5 -1	60	60	55	34	5	2.000-1.000 100- 40
CI 15 R	0,05-0,1 0,5 -1	70	60	54	23	12	2.000-1.000 100- 40
CI 16 Q	0,05-0,1 0,5 -1	80	80	69	20	15	2.000-1.000 100- 40
CI 16 R	0,05-0,1 0,5 -1	92	80	69	23	13	2.000-1.000 100- 40
CI 62	0,05-0,1 0,5 -1	72	72	69	30	5	2.000-1.000 100- 40
CI 8 Q	0,05-0,1 0,5 -1	105	105	90	28	16,5	3.500-1.400 180- 50
CI 8 R	0,05-0,1 0,5 -1	125	102	90	27	16	3.500-1.400 180- 50
CI 8 A	0,05-0,1 0,5 -1	100	100	94	37	5	3.500-1.400 180- 50
CI 11 A	0,05-0,1 0,5 -1	144	144	136	90	5	4.000-1.700 250- 50
INDEX							
W 55 SS	0,05-0,1 0,5 -1	70	60	55	21	14	2.200-1.000 120- 60
W 70 SS	0,05-0,1 0,5 -1	90	80	70	21	14	6.000-2.700 300- 95
W 90 SS	0,05-0,1 0,5 -1	125	108	90	22	16	6.000-2.700 300- 95
W 110 SS	0,05-0,1 0,5 -1	165	140	110	52	20	7.000-3.300 300- 90

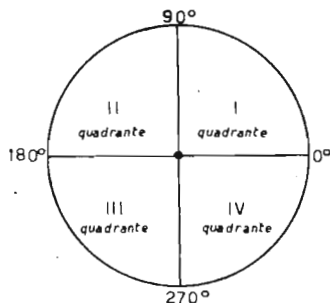
FUNZIONI TRIGONOMETRICHE

Nei triangoli rettangoli, quelli cioè nei quali uno degli angoli è di 90° (ossia la quarta parte esatta di un angolo giro completo di 360°) sussistono rapporti e relazioni speciali dette **funzioni trigonometriche.**

Allorchè per l'espressione grafica di alcuni problemi di carattere elettrico od elettronico si può ricorrere all'uso dei triangoli rettangoli (come avviene con la corrente alternata) è molto facile giungere ad una soluzione esatta e rapida mediante l'impiego appropriato di tali funzioni. Prima di enunciare i concetti fondamentali, è opportuno però rivedere come gli angoli vengono misurati agli effetti pratici.

Misura degli angoli

90°
II quadrante
I quadrante
180°
0°
III quadrante
IV quadrante
270°

Fig. 1 — Dividendo la circonferenza con 2 diametri perpendicolari tra loro, si hanno quattro quadranti di 90°.

Come si può notare nella **figura 1**, la circonferenza è divisa in quattro parti eguali (*quadranti*) mediante due diametri perpendicolari, uno dei quali è orizzontale mentre l'altro è verticale. La parte destra dell'asse orizzontale, rispetto al centro, viene usata come linea di riferimento. Gli angoli sono costituiti da una rotazione in senso antiorario di detta linea, e vengono misurati in gradi, i quali sono 360 nell'intera rotazione della linea di riferimento intorno al centro. In altre parole, se si fa ruotare la linea intorno al centro (punto fermo al centro) in senso antiorario, fino al punto in cui essa ritorna nella posizione di partenza, si descrive un *angolo giro*; un grado ne è la 360ª parte. La circonferenza della figura 1 resta dunque divisa in quattro quadranti, ognuno dei quali comprende (360 : 4 = 90) 90°.

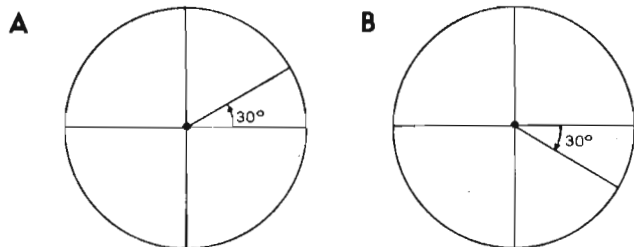



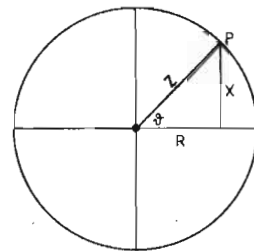
Fig. 2 — Gli angoli sono positivi in senso antiorario (A) e negativi in senso orario (B).

La misura degli angoli può essere effettuata anche in senso orario, nel qual caso i loro valori numerici sono negativi. Come è illustrato nella **figura 2-A**, abbiamo un angolo positivo di 30°, nella sezione **B** della figura si ha un angolo eguale, ma negativo.

Seno, Coseno e Tangente

Supponiamo ora di disegnare un raggio che vada dal centro di una circonferenza fino ad un punto qualsiasi *P* posto sulla stessa (**figura 3**); *P* si trova nel primo quadrante.

Se da detto punto tracciamo una linea perpendicolare

Fig. 3 — Mediante il triangolo rettangolo iscritto nel cerchio possiamo indicare il seno, il coseno e la tangente.

all'asse orizzontale, formiamo un triangolo rettangolo. Contrassegnamo il raggio con la lettera *Z*, il lato verticale — ossia l'altezza — con *X*, ed il lato orizzontale — ossia la base — con *R*; definiamo con la lettera greca θ (theta) il numero di gradi dell'angolo che il raggio forma con l'asse orizzontale.

Il raggio del cerchio è l'ipotenusa del triangolo rettangolo, e spesso viene denominato, come abbiamo visto nello studio della corrente alternata, *raggio vettore*.

Il **seno** di un angolo qualsiasi in un triangolo rettangolo è la lunghezza del lato opposto a detto angolo, divisa per la lunghezza dell'ipotenusa. Nel triangolo della figura 3 abbiamo perciò:

$$\text{sen}\ \theta = \frac{X}{Z}$$

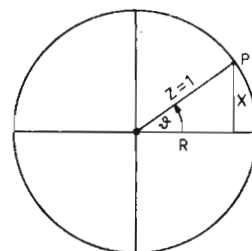
Il **coseno** di un angolo è la lunghezza del lato ad esso adiacente, divisa per la lunghezza dell'ipotenusa, per cui, riferendoci alla medesima figura, si ha:

$$\cos \theta = \frac{R}{Z}$$

La **tangente** di un angolo è la lunghezza del lato opposto all'angolo stesso, divisa per la lunghezza del lato adiacente, ossia:

$$\tan \theta = \frac{X}{R}$$

Supponiamo di disegnare un cerchio con un raggio pari ad 1 unità (**figura 4**). In questo caso abbiamo:

Fig. 4 — Quando il raggio equivale a 1, il seno dell'angolo ϑ è sempre eguale ad X.

$$\text{sen}\ \theta = \frac{X}{Z} = \frac{X}{1} = X$$

per cui se il raggio, ossia l'ipotenusa, equivale a uno, la lunghezza di *X* (la componente verticale) sarà sempre il seno dell'angolo.

Esaminiamo la **figura 5.** In essa si nota che nella sezione **A**, nella quale l'angolo θ è piccolo, anche la componente verticale *X* è piccola. Nella sezione **B** sia l'angolo che la componente verticale sono maggiori, ed in **C** — quando cioè l'angolo θ è di 90° — la componente verticale raggiunge la circonferenza nel punto *P*. Poichè in

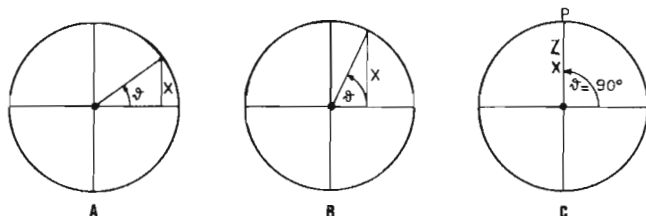



Fig. 5 — Con angolo piccolo (A) anche X è piccolo: esso aumenta con l'angolo (B) sino ad essere pari al raggio con un angolo di 90° (C).

questo caso la componente verticale assume la medesima lunghezza del raggio, si ha:

$$\text{sen } 90^\circ = \frac{X}{Z} = \frac{1}{1} = 1$$

Ciò è molto importante da ricordare in quanto dimostra che il seno di 90° = 1.

A 90° il seno raggiunge il suo massimo valore, ossia la componente verticale raggiunge la lunghezza massima. È inoltre opportuno ricordare che il seno di un angolo non può mai essere maggiore di 1 in quanto la componente verticale non può mai superare il raggio.

Man mano che l'angolo θ aumenta da 90° a 180°, la componente verticale diminuisce nuovamente assumendo tutti i valori intermedi tra 1 e 0. A 180°, il raggio giace lungo l'asse orizzontale e la componente verticale non esiste. In questo caso si ha:

$$\text{sen } 180^\circ = \frac{X}{Z} = \frac{0}{1} = 0$$

Man mano che l'angolo θ aumenta da 180° a 270°, la componente verticale si estende dall'asse orizzontale ad un punto della circonferenza posto lungo la metà inferiore. Si noti che, quando il triangolo rettangolo si forma nel terzo quadrante, la componente verticale giace appunto al di sotto dell'asse orizzontale (**figura 6-A**).

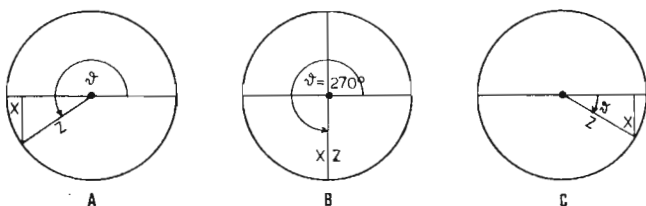



Fig. 6 — Con angoli oltre i 180° si entra nei quadranti posti sotto l'orizzontale: si hanno allora seni negativi.

Quando la componente verticale si trova al di sotto dell'asse orizzontale, il seno dell'angolo è negativo. Secondo una regola di trigonometria, il seno degli angoli compresi fra 180° e 360° è negativo.

In figura 6-**B**, θ ammonta a 270°; la componente verticale è nuovamente eguale al raggio Z, per cui anche il seno di 270° è equivalente a 1, ma ha un valore negativo. Cioè: sen 270° = —1

Si noti anche che un angolo positivo di 270° è eguale ad un angolo negativo di 90°.

Qualsiasi angolo positivo compreso tra 180° e 360° può essere individuato anche da un angolo negativo misurato in senso orario, partendo dall'asse di riferimento. Infatti, a tale sistema si ricorre spesso nello studio della corrente alternata in quanto costituisce un modo più semplice che non quello di considerare gli angoli positivi compresi tra 180° e 360°.

Nella figura 6-**C** ad esempio, si nota che è più conveniente considerare l'angolo θ come avente un valore negativo pari a —30° che non considerarlo come un angolo positivo pari a 330°. Nel quarto quadrante il seno dell'angolo varia da —1 a 270°, a 0, a 360° nuovamente.

Rivediamo ora brevemente ciò che accade al valore del seno di un angolo se quest'ultimo aumenta da 0° a 360°. Il valore del seno aumenta da 0, a 0°, fino ad un massimo di 1, a 90°, dopo di che diminuisce gradatamente a 0 a 180°. Il suo valore aumenta quindi in senso negativo finchè raggiunge il massimo valore negativo a 270°. Da 270° a 360° il valore negativo diminuisce fino a che cade a 0 nuovamente a 360°.

La curva sinusoidale

Nella **figura 7** sono illustrati tutti i valori di sen θ corrispondenti ad ogni variazione di 30° dell'angolo. Unendo i diversi punti si ottiene una curva come quella illustrata nella figura.

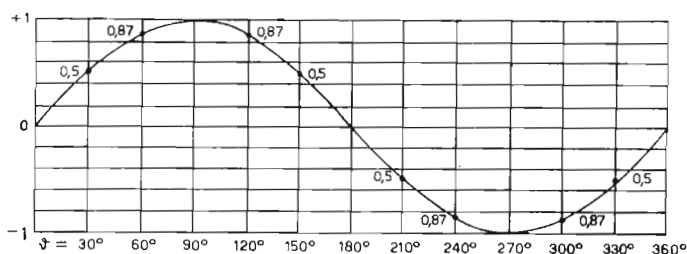



Fig. 7 — La curva sinusoidale nasce dall'unione dei punti rappresentanti i valori di seno dell'angolo ϑ.

L'asse orizzontale è contrassegnato ogni 30°, e l'asse verticale può raggiungere i valori massimi di +1 e —1. Quando i punti che rappresentano il seno dei vari angoli di θ vengono uniti da un tratto continuo, si ottiene una curva matematica detta curva sinusoidale. Tale curva è appunto quella usata, come ben sappiamo, per la rappresentazione grafica delle correnti e delle tensioni alternate che interessano lo studio dell'elettronica.

CONCETTI VETTORIALI

Le quantità vettoriali possono essere rappresentate graficamente mediante una linea retta.

La lunghezza di tale linea viene stabilita in modo tale da corrispondere proporzionalmente alla quantità vettoriale rappresentata.

La direzione della linea corrisponde a quella della quantità vettoriale; essa viene stabilita in base alle seguenti regole:

1) Tutti gli angoli vengono misurati dall'asse orizzontale che giace a destra del punto di incontro con l'asse verticale, detto « origine ».

2) Tutti gli angoli sono considerati positivi se misurati in senso antiorario rispetto alla posizione di partenza dell'asse orizzontale.

3) Tutti gli angoli sono considerati negativi se sono misurati in senso orario rispetto alla posizione di partenza dell'asse orizzontale.

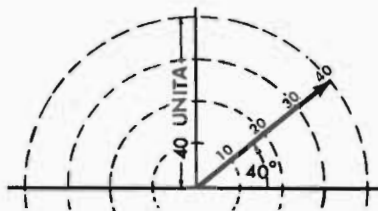



Fig. 8 — Rappresentazione di una quantità vettoriale di 40 unità in direzione di 40°.

Una quantità vettoriale la cui ampiezza ammonti a 40 unità in una direzione di 40° è rappresentata nella **figura 8.** Si noti la freccia che indica la direzione del vettore.

Una data ampiezza e direzione indica un vettore e solo quel vettore. I vettori espressi in tal guisa — ossia stabilendone soltanto l'ampiezza e la direzione — si dicono espressi in *forma polare.* Il vettore visibile nell'illustrazione può essere espresso in forma polare come segue:

$$40 < 40^\circ$$

Tale espressione deve essere letta « *40 con un angolo di 40°* ».

Nello studio dei vettori è opportuno inoltre considerare due concetti essenziali. Il primo afferma che un vettore può essere spostato in una nuova posizione, parallela a quella originale, senza che esso subisca cambiamenti; il secondo afferma che un vettore può essere spostato in una nuova posizione qualsiasi lungo il suo asse, senza esserne alterato. Tali spostamenti, si noti, non alterano nè l'ampiezza nè la direzione, per cui il vettore rimane fedele alle sue caratteristiche; tuttavia, questi spostamenti possono essere utili in determinati casi per facilitare dei calcoli.

Somma di vettori

Due vettori possono essere sommati facendo in modo che il termine del primo corrisponda all'inizio del secondo, proseguendo nella direzione indicata. La somma o risultante è misurata dall'origine ed è costituita da un vettore la cui lunghezza è pari alla somma delle lunghezze dei due vettori che giacciono sulla stessa retta.

Sottrazione di vettori

Due vettori possono essere sottratti facendo in modo che giacciano sulla stessa retta e che una estremità del primo concida con una estremità del secondo. In tal modo il vettore di minore estensione coinciderà con una parte del vettore di estensione maggiore. La differenza consiste nella differenza di lunghezza tra i due vettori.

Moltiplicazione di vettori

Può capitare di dover moltiplicare o dividere due quantità vettoriali. Il prodotto di due quantità vettoriali può essere calcolato moltiplicando le ampiezze tra loro e sommando algebricamente gli angoli.

Se, ad esempio, si desidera moltiplicare $Z_1 = 10/20^\circ$ e $Z_2 = 15/30^\circ$, si procede come segue:

$$(Z_1)\ (Z_2) = (10/20^\circ)\ (15/30^\circ)$$
$$= (10)\ (15)\ /\ 20^\circ + 30^\circ$$
$$= 150/50^\circ$$

Divisione di vettori

La divisione di vettori viene effettuata in maniera inversa a quella con cui si effettua la moltiplicazione, ossia si dividono le ampiezze e si sottraggono algebricamente gli angoli.

TABELLA 40 - TAVOLE TRIGONOMETRICHE
per la ricerca delle funzioni di un angolo

A pagina 171 abbiamo fatto cenno per la prima volta alle tavole trigonometriche la cui utilità risulta molto evidente ogni volta che si desidera trovare una funzione di un angolo. Queste tavole sono impostate come segue.

Per gli angoli da 0 a 45° si cerchi il valore dell'angolo nella **prima colonna.** I valori delle relative funzioni saranno quelli riportati sulla stessa riga e in corrispondenza delle **diciture superiori.** (Es. per angolo di 42°, il seno è 0,66913).

Per angoli superiori a 45° sino a 90° il valore è sull'**ultima colonna.** Le funzioni corrispondono alle **diciture inferiori.** (Es. per angolo di 48° il seno è 0,74314).

Per angoli maggiori di 90°, da 180° si sottragga il valore dell'angolo in questione e si cerchi la funzione dell'angolo di differenza, funzione che si farà precedere dal segno —.

Gradi	Seno	Coseno	Tangente	Cotangente	Gradi
0°,00′	0,00000	1,00000	0,00000	∞	90°,00′
0°,10′	0,00291	1,00000	0,00291	343,77371	89°,50′
0°,20′	0,00582	0,99998	0,00582	171,88540	89°,40′
0°,30′	0,00873	0,99996	0,00873	114,58865	89°,30′
0°,40′	0,01164	0,99993	0,01164	85,93979	89°,20′
0°,50′	0,01454	0,99989	0,01455	68,75009	89°,10′
1°,00′	0,01745	0,99985	0,01746	57,28996	89°,00′
1°,10′	0,02036	0,99979	0,02036	49,10388	88°,50′
1°,20′	0,02327	0,99973	0,02328	42,96408	88°,40′
1°,30′	0,02618	0,99966	0,02619	38,18846	88°,30′
1°,40′	0,02908	0,99958	0,02910	34,36777	88°,20′
1°,50′	0,03199	0,99949	0,03201	31,24158	88°,10′
2°,00′	0,03490	0,99939	0,03492	28,63625	88°,00′
2°,10′	0,03781	0,99929	0,03783	26,43160	87°,50′
2°,20′	0,04071	0,99917	0,04075	24,54176	87°,40′
2°,30′	0,04362	0,99905	0,04366	22,90377	87°,30′
2°,40′	0,04653	0,99892	0,04568	21,47040	87°,20′
2°,50′	0,04943	0,99878	0,04949	20,20555	87°,10′
3°,00′	0,05234	0,99863	0,05241	19,08114	87°,00′
3°,10′	0,05524	0,99847	0,05533	18,07498	86°,50′
3°,20′	0,05814	0,99831	0,05824	17,16934	86°,40′
3°,30′	0,06105	0,99813	0,06116	16,34986	86°,30′
3°,40′	0,06395	0,99795	0,06408	15,60478	86°,20′
3°,50′	0,06685	0,99776	0,06700	14,92442	86°,10′
4°,00′	0,06976	0,99756	0,06993	14,30067	86°,00′
4°,10′	0,07266	0,99736	0,07285	13,72674	85°,50′
4°,20′	0,07556	0,99714	0,07578	13,19688	85°,40′
4°,30′	0,07846	0,99692	0,07870	12,70621	85°,30′
4°,40′	0,08136	0,99668	0,08163	12,25051	85°,20′
4°,50′	0,08426	0,99644	0,08456	11,82617	85°,10′
5°,00′	0,08716	0,99619	0,08749	11,43005	85°,00′
5°,10′	0,09005	0,99594	0,09042	11,05943	84°,50′
5°,20′	0,09295	0,99567	0,09335	10,71191	84°,40′
5°,30′	0,09585	0,99540	0,09629	10,38540	84°,30′
5°,40′	0,09874	0,99511	0,09923	10,07803	84°,20′
5°,50′	0,10164	0,99482	0,10216	9,78817	84°,10′
6°,00′	0,10453	0,99452	0,10510	9,51436	84°,00′
6°,10′	0,10742	0,99421	0,10805	9,25530	83°,50′
6°,20′	0,11031	0,99390	0,11099	9,00983	83°,40′
6°,30′	0,11320	0,99357	0,11394	8,77689	83°,30′
6°,40′	0,11609	0,99324	0,11688	8,55555	83°,20′
6°,50′	0,11898	0,99290	0,11983	8,34496	83°,10′
7°,00′	0,12187	0,99255	0,12278	8,14435	83°,00′
7°,10′	0,12476	0,99219	0,12574	7,95302	82°,50′
7°,20′	0,12764	0,99182	0,12869	7,77035	82°,40′
7°,30′	0,13053	0,99144	0,13165	7,59575	82°,30′
7°,40′	0,13341	0,99106	0,13461	7,42871	82°,20′
7°,50′	0,13629	0,99067	0,13758	7,26873	82°,10′
8°,00′	0,13917	0,99027	0,14054	7,11537	82°,00′
8°,10′	0,14205	0,98986	0,14351	6,96823	81°,50′
8°,20′	0,14493	0,98944	0,14648	6,82694	81°,40′
8°,30′	0,14781	0,98902	0,14945	6,69116	81°,30′
8°,40′	0,15069	0,98858	0,15243	6,56055	81°,20′
8°,50′	0,15356	0,98814	0,15540	6,43484	81°,10′
9°,00′	0,15643	0,98769	0,15838	6,31375	81°,00′
9°,10′	0,15931	0,98723	0,16137	6,19703	80°,50′
9°,20′	0,16218	0,98676	0,16435	6,08444	80°,40′
9°,30′	0,16505	0,98629	0,16734	5,97576	80°,30′
9°,40′	0,16792	0,98580	0,17033	5,87080	80°,20′
9°,50′	0,17078	0,98531	0,17333	5,76937	80°,10′
10°,00′	0,17365	0,98481	0,17633	5,67128	80°,00′
10°,10′	0,17651	0,98430	0,17933	5,57638	79°,50′
10°,20′	0,17937	0,98378	0,18233	5,48451	79°,40′
10°,30′	0,18224	0,98325	0,18534	5,39552	79°,30′
10°,40′	0,18509	0,98272	0,18835	5,30928	79°,20′
10°,50′	0,18795	0,98218	0,19136	5,22566	79°,10′
Gradi	Coseno	Seno	Cotangente	Tangente	Gradi

Gradi	Seno	Coseno	Tangente	Cotangente	Gradi
11°,00'	0,19081	0,98163	0,19438	5,14455	79°,00'
11°,10'	0,19366	0,98107	0,19740	5,06584	78°,50'
11°,20'	0,19652	0,98050	0,20042	4,98940	78°,40'
11°,30'	0,19937	0,97992	0,20345	4,91516	78°,30'
11°,40'	0,20222	0,97934	0,20648	4,84300	78°,20'
11°,50'	0,20507	0,97875	0,20952	4,77286	78°,10'
12°,00'	0,20791	0,97815	0,21256	4,70463	78°,00'
12°,10'	0,21076	0,97754	0,21560	4,63825	77°,50'
12°,20'	0,21360	0,97692	0,21864	4,57363	77°,40'
12°,30'	0,21644	0,97630	0,22169	4,51071	77°,30'
12°,40'	0,21928	0,97566	0,22475	4,44942	77°,20'
12°,50'	0,22212	0,97502	0,22781	4,38969	77°,10'
13°,00'	0,22495	0,97437	0,23087	4,33148	77°,00'
13°,10'	0,22778	0,97371	0,23393	4,27471	76°,50'
13°,20'	0,23062	0,97304	0,23700	4,21933	76°,40'
13°,30'	0,23345	0,97237	0,24008	4,16530	76°,30'
13°,40'	0,23627	0,97169	0,24316	4,11256	76°,20'
13°,50'	0,23910	0,97100	0,24624	4,06107	76°,10'
14°,00'	0,24192	0,97030	0,24933	4,01078	76°,00'
14°,10'	0,24474	0,96959	0,25242	3,96165	75°,50'
14°,20'	0,24756	0,96887	0,25552	3,91364	75°,40'
14°,30'	0,25038	0,96815	0,25862	3,86671	75°,30'
14°,40'	0,25320	0,96742	0,26172	3,82083	75°,20'
14°,50'	0,25601	0,96667	0,26483	3,77595	75°,10'
15°,00'	0,25882	0,96593	0,26795	3,73205	75°,00'
15°,10'	0,26163	0,96517	0,27107	3,68909	74°,50'
15°,20'	0,26443	0,96440	0,27419	3,64705	74°,40'
15°,30'	0,26724	0,96363	0,27732	3,60588	74°,30'
15°,40'	0,27004	0,96285	0,28046	3,56557	74°,20'
15°,50'	0,27284	0,96206	0,28360	3,52609	74°,10'
16°,00'	0,27564	0,96126	0,28675	3,48741	74°,00'
16°,10'	0,27843	0,96046	0,28990	3,44951	73°,50'
16°,20'	0,28123	0,95964	0,29305	3,41236	73°,40'
16°,30'	0,28402	0,95882	0,29621	3,37594	73°,30'
16°,40'	0,28680	0,95799	0,29938	3,34023	73°,20'
16°,50'	0,28959	0,95715	0,30255	3,30521	73°,10'
17°,00'	0,29237	0,95630	0,30573	3,27085	73°,00'
17°,10'	0,29515	0,95545	0,30891	3,23714	72°,50'
17°,20'	0,29793	0,95459	0,31210	3,20406	72°,40'
17°,30'	0,30071	0,95372	0,31530	3,17159	72°,30'
17°,40'	0,30348	0,95284	0,31850	3,13972	72°,20'
17°,50'	0,30625	0,95195	0,32171	3,10842	72°,10'
18°,00'	0,30902	0,95106	0,32492	3,07768	72°,00'
18°,10'	0,31178	0,95015	0,32814	3,04749	71°,50'
18°,20'	0,31454	0,94924	0,33136	3,01783	71°,40'
18°,30'	0,31730	0,94832	0,33460	2,98869	71°,30'
18°,40'	0,32006	0,94740	0,33783	2,96004	71°,20'
18°,50'	0,32282	0,94646	0,34108	2,93189	71°,10'
19°,00'	0,32557	0,94552	0,34433	2,90421	71°,00'
19°,10'	0,32832	0,94457	0,34758	2,87700	70°,50'
19°,20'	0,33106	0,94361	0,35085	2,85023	70°,40'
19°,30'	0,33381	0,94264	0,35412	2,82391	70°,30'
19°,40'	0,33655	0,94167	0,35740	2,79802	70°,20'
19°,50'	0,33929	0,94068	0,36068	2,77254	70°,10'
20°,00'	0,34202	0,93969	0,36397	2,74748	70°,00'
20°,10'	0,34475	0,93869	0,36727	2,72281	69°,50'
20°,20'	0,34748	0,93769	0,37057	2,69853	69°,40'
20°,30'	0,35021	0,93667	0,37388	2,67462	69°,30'
20°,40'	0,35293	0,93565	0,37720	2,65109	69°,20'
20°,50'	0,35565	0,93462	0,38053	2,62791	69°,10'
21°,00'	0,35837	0,93358	0,38386	2,60509	69°,00'
21°,10'	0,36108	0,93253	0,38721	2,58261	68°,50'
21°,20'	0,36379	0,93148	0,39055	2,56046	68°,40'
21°,30'	0,36650	0,93042	0,39391	2,53865	68°,30'
21°,40'	0,36921	0,92935	0,39727	2,51715	68°,20'
21°,50'	0,37191	0,92827	0,40065	2,49597	68°,10'
22°,00'	0,37461	0,92718	0,40403	2,47509	68°,00'
22°,10'	0,37730	0,92609	0,40741	2,45451	67°,50'
22°,20'	0,37999	0,92499	0,41081	2,43422	67°,40'
22°,30'	0,38268	0,92388	0,41421	2,41421	67°,30'
22°,40'	0,38537	0,92276	0,41763	2,39449	67°,20'
22°,50'	0,38805	0,92164	0,42105	2,37504	67°,10'
23°,00'	0,39073	0,92050	0,42447	2,35585	67°,00
23°,10'	0,39341	0,91936	0,42791	2,33693	66°,50'
23°,20'	0,39608	0,91822	0,43136	2,31826	66°,40'
23°,30'	0,39875	0,91706	0,43481	2,29984	66°,30'
23°,40'	0,40142	0,91590	0,43828	2,28167	66°,20'
23°,50'	0,40408	0,91472	0,44175	2,26374	66°,10'
24°,00'	0,40674	0,91355	0,44523	2,24604	66°,00'
24°,10'	0,40939	0,91236	0,44872	2,22857	65°,50'
24°,20'	0,41204	0,91116	0,45222	2,21132	65°,40'
24°,30'	0,41469	0,90996	0,45573	2,19430	65°,30'
24°,40'	0,41734	0,90875	0,45924	2,17749	65°,20'
24°,50'	0,41998	0,90753	0,46277	2,16090	65°,10'
25°,00'	0,42262	0,90631	0,46631	2,14451	65°,00'
25°,10'	0,42525	0,90507	0,46985	2,12832	64°,50'
25°,20'	0,42788	0,90383	0,47341	2,11233	64°,40'
25°,30'	0,43051	0,90259	0,47698	2,09654	64°,30'
25°,40'	0,43313	0,90133	0,48055	2,08094	64°,20'
25°,50'	0,43576	0,90007	0,48414	2,06553	64°,10'
26°,00'	0,43837	0,89879	0,48773	2,05030	64°,00'
26°,10'	0,44098	0,89752	0,49134	2,03526	63°,50'
26°,20'	0,44359	0,89623	0,49495	2,02039	63°,40'
26°,30'	0,44620	0,89493	0,49858	2,00569	63°,30'
26°,40'	0,44880	0,89363	0,50222	1,99116	63°,20'
26°,50'	0,45140	0,89232	0,50587	1,97680	63°,10'
27°,00'	0,45399	0,89101	0,50953	1,96261	63°,00'
27°,10'	0,45658	0,88968	0,51320	1,94858	62°,50'
27°,20'	0,45917	0,88835	0,51688	1,93470	62°,40'
27°,30'	0,46175	0,88701	0,52057	1,92098	62°,30'
27°,40'	0,46433	0,88566	0,52427	1,90741	62°,20'
27°,50'	0,46690	0,88431	0,52798	1,89400	62°,10'
Gradi	**Coseno**	**Seno**	**Cotangente**	**Tangente**	**Gradi**

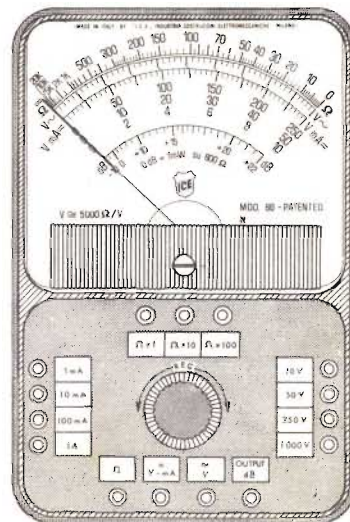
Gradi	Seno	Coseno	Tangente	Cotangente	Gradi
28°,00'	0,46947	0,88295	0,53171	1,88073	62°,00'
28°,10'	0,47204	0,88158	0,53545	1,86760	61°,50'
28°,20'	0,47460	0,88020	0,53920	1,85462	61°,40'
28°,30'	0,47716	0,87882	0,54296	1,84177	61°,30'
28°,40'	0,47971	0,87743	0,54673	1,82906	61°,20'
28°,50'	0,48226	0,87603	0,55051	1,81649	61°,10'
29°,00'	0,48481	0,87462	0,55431	1,80405	61°,00'
29°,10'	0,48735	0,87321	0,55812	1,79174	60°,50'
29°,20'	0,48989	0,87178	0,56194	1,77955	60°,40'
29°,30'	0,49242	0,87036	0,56577	1,76749	60°,30'
29°,40'	0,49495	0,86892	0,56962	1,75556	60°,20'
29°,50'	0,49748	0,86748	0,57348	1,74375	60°,10'
30°,00'	0,50000	0,86603	0,57735	1,73205	60°,00'
30°,10'	0,50252	0,86457	0,58124	1,72047	59°,50'
30°,20'	0,50503	0,86310	0,58513	1,70901	59°,40'
30°,30'	0,50754	0,86163	0,58905	1,69766	59°,30'
30°,40'	0,51004	0,86015	0,59297	1,68643	59°,20'
30°,50'	0,51254	0,85866	0,59691	1,67530	59°,10'
31°,00'	0,51504	0,85717	0,60086	1,66428	59°,00'
31°,10'	0,51753	0,85567	0,60483	1,65337	58°,50'
31°,20'	0,52002	0,85416	0,60881	1,64256	58°,40'
31°,30'	0,52250	0,85264	0,61280	1,63185	58°,30'
31°,40'	0,52498	0,85112	0,61681	1,62125	58°,20'
31°,50'	0,52745	0,84959	0,62083	1,61074	58°,10'
32°,00'	0,52992	0,84805	0,62487	1,60033	58°,00'
32°,10'	0,53238	0,84650	0,62892	1,59002	57°,50'
32°,20'	0,53484	0,84495	0,63299	1,57981	57°,30'
32°,30'	0,53730	0,84339	0,63707	1,56969	57°,40'
32°,40'	0,53975	0,84182	0,64117	1,55966	57°,20'
32°,50'	0,54220	0,84025	0,64528	1,54972	57°,10'
33°,00'	0,54464	0,83867	0,64941	1,53987	57°,00'
33°,10'	0,54708	0,83708	0,65355	1,53010	56°,50'
33°,20'	0,54951	0,83549	0,65771	1,52043	56°,40'
33°,30'	0,55194	0,83389	0,66189	1,51084	56°,30'
33°,40'	0,55436	0,83228	0,66608	1,50133	56°,20'
33°,50'	0,55678	0,83066	0,67028	1,49190	56°,10'
34°,00'	0,55919	0,82904	0,67451	1,48256	56°,00'
34°,10'	0,56160	0,82741	0,67875	1,47330	55°,50'
34°,20'	0,56401	0,82577	0,68301	1,46411	55°,40'
34°,30'	0,56641	0,82413	0,68728	1,45501	55°,30'
34°,40'	0,56880	0,82248	0,69157	1,44598	55°,20'
34°,50'	0,57119	0,82082	0,69588	1,43703	55°,10'
35°,00'	0,57358	0,81915	0,70021	1,42815	55°,00'
35°,10'	0,57596	0,81748	0,70455	1,41934	54°,50'
35°,20'	0,57833	0,81580	0,70891	1,41061	54°,40'
35°,30'	0,58070	0,81412	0,71329	1,40195	54°,30'
35°,40'	0,58307	0,81242	0,71769	1,39336	54°,20'
35°,50'	0,58543	0,81072	0,72211	1,38484	54°,10'
36°,00'	0,58779	0,80902	0,72654	1,37638	54°,00'
36°,10'	0,59014	0,80730	0,73100	1,36800	53°,50'
36°,20'	0,59248	0,80558	0,73547	1,35968	53°,40'
36°,30'	0,59482	0,80386	0,73996	1,35142	53°,30'
36°,40'	0,59716	0,80212	0,74447	1,34323	53°,20'
36°,50'	0,59949	0,80038	0,74900	1,33511	53°,10'
37°,00'	0,60182	0,79864	0,75355	1,32704	53°,00'
37°,10'	0,60414	0,79688	0,75812	1,31904	52°,50'
37°,20'	0,60645	0,79513	0,76272	1,31110	52°,40'
37°,30'	0,60876	0,79335	0,76733	1,30323	52°,30'
37°,40'	0,61107	0,79158	0,77196	1,29541	52°,20'
37°,50'	0,61337	0,78980	0,77661	1,28764	52°,10'
38°,00'	0,61566	0,78801	0,78129	1,27994	52°,00'
38°,10'	0,61795	0,78622	0,78598	1,27230	51°,50'
38°,20'	0,62024	0,78442	0,79070	1,26471	51°,40'
38°,30'	0,62251	0,78261	0,79544	1,25717	51°,30'
38°,40'	0,62479	0,78079	0,80020	1,24969	51°,20'
38°,50'	0,62706	0,77897	0,80498	1,24227	51°,10'
39°,00'	0,62932	0,77715	0,80978	1,23490	51°,00'
39°,10'	0,63158	0,77531	0,81461	1,22758	50°,50'
39°,20'	0,63383	0,77347	0,81946	1,22031	50°,40'
39°,30'	0,63608	0,77162	0,82434	1,21310	50°,30'
39°,40'	0,63832	0,76977	0,82923	1,20593	50°,20'
39°,50'	0,64056	0,76791	0,83415	1,19882	50°,10'
40°,00'	0,64279	0,76604	0,83910	1,19175	50°,00
40°,10'	0,64501	0,76417	0,84407	1,18474	49°,50'
40°,20'	0,64723	0,76229	0,84906	1,17777	49°,40'
40°,30'	0,64945	0,76041	0,85408	1,17085	49°,30'
40°,40'	0,65166	0,75851	0,85912	1,16398	49°,20'
40°,50'	0,65386	0,75661	0,86419	1,15715	49°,10'
41°,00'	0,65606	0,75471	0,86929	1,15037	49°,00'
41°,10'	0,65825	0,75280	0,87441	1,14363	48°,50'
41°,20'	0,66044	0,75088	0,87955	1,13694	48°,40'
41°,30'	0,66262	0,74896	0,88473	1,13029	48°,30'
41°,40'	0,66480	0,74703	0,88992	1,12369	48°,20'
41°,50'	0,66697	0,74509	0,89515	1,11713	48°,10'
42°,00'	0,66913	0,74314	0,90040	1,11061	48°,00'
42°,10'	0,67129	0,74120	0,90569	1,10414	47°,50'
42°,20'	0,67344	0,73924	0,91099	1,09770	47°,40'
42°,30'	0,67559	0,73728	0,91633	1,09131	47°,30'
42°,40'	0,67773	0,73531	0,92170	1,08496	47°,20'
42°,50'	0,67987	0,73333	0,92709	1,07864	47°,10'
43°,00'	0,68200	0,73135	0,93252	1,07237	47°,00'
43°,10'	0,68412	0,72937	0,93797	1,06613	46°,50'
43°,20'	0,68624	0,72737	0,94345	1,05994	46°,40'
43°,30'	0,68835	0,72537	0,94896	1,05378	46°,30'
43°,40'	0,69046	0,72337	0,95451	1,04766	46°,20'
43°,50'	0,69256	0,72136	0,96008	1,04158	46°,10'
44°,00'	0,69466	0,71934	0,96569	1,03553	46°,00'
44°,10'	0,69675	0,71732	0,97133	1,02952	45°,50'
44°,20'	0,69883	0,71529	0,97700	1,02355	45°,40'
44°,30'	0,70091	0,71325	0,98270	1,01761	45°,30'
44°,40'	0,70298	0,71121	0,98843	1,01170	45°,20'
44°,50'	0,70505	0,70916	0,99420	1,00583	45°,10'
45°,00'	0,70711	0,70711	1,00000	1,00000	45°,00'
Gradi	**Coseno**	**Seno**	**Cotangente**	**Tangente**	**Gradi**

Sul prossimo fascicolo

una lezione dedicata interamente agli ohmetri e due lezioni riguardanti gli analizzatori o "tester"

Descrizione dettagliata, con numerosi disegni, per la costruzione di:

1 "tester" a 1.000 ohm per volt
1 "tester" a 5.000 ohm per volt

L'analizzatore portatile a 5.000 ohm per volt — qui illustrato — è uno strumento modernissimo e completo, progettato per i nostri lettori da una grande industria nazionale specializzata nel ramo. Esso potrà essere realizzato con piena sicurezza circa i risultati ottenibili: tutte le parti sono state progettate in funzione del loro compito. L'assieme finito presenta un aspetto altamente professionale anche se l'apparecchio viene costruito da un dilettante. Possibilità di scelta, nell'acquisto, tra scatola di montaggio completa e apparecchio già montato: in ogni caso il prezzo del "tester" risulta molto conveniente.

PRENOTATE SUBITO ALL'EDICOLA IL PROSSIMO NUMERO (Lezioni 25ª - 26ª - 27ª).

Saranno argomento di questo Corso, tra l'altro: i **transistori** questi nuovi, rivoluzionari organi delle più recenti realizzazioni dell'elettronica. L'impiego dei transistori si estende rapidamente: sono già numerosi i ricevitori e gli amplificatori in commercio che ne sono dotati e il loro numero è indubbiamente destinato ad accrescersi perchè i transistori sostituiranno con ampia percentuale, le valvole termoioniche. E' perciò necessario che il radiotecnico li conosca, sappia applicarli, si renda conto di quanto e di come differiscano dalle valvole, sia aggiornato nei tipi e nelle caratteristiche. Saranno descritti numerosi montaggi di ricevitori, trasmettitori e dispositivi elettronici da realizzare con l'impiego di transistori.

La modulazione di frequenza o F.M., come viene correntemente definita, è il sistema di trasmissione radiofonica che in questi ultimi anni è venuto ad affiancarsi a quello classico della modulazione di ampiezza. Che cosa sia la F.M., quali caratteristiche presenti, come funzionino e si realizzino i ricevitori per F.M. sarà ampiamente detto durante lo svolgimento del Corso. Oramai anche i ricevitori più economici sono caratterizzati dalla possibilità di ricezione della modulazione di frequenza: il radioamatore, e più ancora il radioriparatore, devono perciò rendersi pienamente consci della tecnica relativa, degli schemi, e dei particolari circuiti.

Un'altra tecnica in piena evoluzione è quella dell'**Alta Fedeltà.** Le esigenze per ciò che riguarda la fedeltà di riproduzione sonora sono notevolmente aumentate. Il materiale relativo alla sezione di Bassa Frequenza di molti ricevitori nonchè quello di appositi amplificatori, rivelatori e riproduttori si è andato e si va vieppiù affinando e perfezionando; ne risultano nuove tecniche, nuove disposizioni circuitali, nuovi accorgimenti che è duopo conoscere. Citiamo in proposito **la registrazione magnetica** che ha visto un rapido espandersi dei magnetofoni, cui fa riscontro, nella battaglia tra il nastro e il disco, il microsolco. Ora, entrambi hanno affinata la loro tecnica con la **riproduzione stereofonica.**

In questi ultimi tempi hanno fatto la loro comparsa ricevitori e amplificatori montati secondo il sistema dei **circuiti stampati.** Si tratta di pannelli caratterizzati dal fatto che i collegamenti necessari all'unione dei vari componenti sono già esistenti sul pannello stesso, sotto forma di un conduttore che viene ricavato seguendo alcune fasi della tecnica di stampa. E' evidente che un tale sistema — adottato anche parzialmente, e cioè in sole sezioni di un complesso — reca riduzioni di costo notevoli se l'apparecchio viene prodotto in grande serie. E' intuitivo anche che il tecnico debba d'ora in poi sapere quali sono i punti delicati e come ci si debba comportare nei confronti di questo nuovo metodo realizzativo. Il nostro Corso, al momento opportuno, affronta l'argomento e lo illustra nei suoi più minuti dettagli.

Una tra le più allettanti attività in campo radio è quella della **trasmissione dilettantistica.** Chiunque può ottenere la licenza di trasmissione previo un facile esame su argomenti e materia che il nostro Corso ampiamente espone ma esso, in proposito, non si limita alla preparazione per il superamento dell'esame: riporta descrizioni di trasmettitori e ricevitori appositi da realizzarsi, riporta le norme che regolano l'attività, le caratteristiche dei materiali idonei, indirizzi, prefissi, abbreviazioni, ecc. Va ricordato che questa della trasmissione, cioè delle comunicazioni a distanza tra amatori di tutto il mondo, è la forma più suggestiva e appassionante di attività radiotecnica; è proprio tale attività che assai spesso porta alla formazione dei più abili tecnici, come ampiamente l'esperienza dimostra. E' pertanto un passatempo del più alto valore istruttivo che molto spesso contribuisce anche al nascere di amicizie e relazioni con radioamatori di tutti i continenti.

IMPORTANTE! : se vi interessano i prossimi fascicoli datene subito avviso al vostro giornalaio!

Per un anno, a domicilio, un completo Corso che vi costa un decimo di tutti gli altri Corsi

Vi formerete un volume di ben 1248 pagine: un prezioso manuale-enciclopedia di elettronica